

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO

**Avaliação de Fontes de Fertilizantes Nitrogenados
nas Culturas de Cana-de-açúcar, Algodão e Milho**

Rosimar de Souza Goulart

2012



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**AVALIAÇÃO DE FONTES DE FERTILIZANTES
NITROGENADOS NAS CULTURAS DA CANA-DE-AÇÚCAR,
ALGODÃO E MILHO**

Rosimar de Souza Goulart

Sob a Orientação do Professor
Everaldo Zonta

e Co-orientação do Professor
Eduardo Lima

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Maio de 2012

631.84
G694a
T

Goulart, Rosimar de Souza, 1980-
Avaliação de fontes de fertilizantes nitrogenados
nas culturas da cana-de-açúcar, algodão e milho /
Rosimar de Souza Goulart – 2012.
97 f. : il.

Orientador: Everaldo Zonta.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação
em Agronomia – Ciência do Solo.
Bibliografia: f. 77-85.

1. Fertilizantes nitrogenados – Teses. 2. Cultivos
agrícolas e nitrogênio – Teses. 3. Cana-de-açúcar –
Adubos e fertilizantes – Teses. 4. Algodão – Adubos
e fertilizantes – Teses. 5. Milho – Adubos e
fertilizantes – Teses. 6. Solos – Teor de nitrogênio –
Teses. 7. Solos – Teor de enxofre – Teses. I. Zonta,
Everaldo, 1970-. II. Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em
Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

ROSIMAR DE SOUZA GOULART

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 31/05/2012

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Adriano Portz. Dr. UFF

Nelson Mazur. Dr. UFRRJ

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus, pois sem ele nada seria possível.

Dedico essa dissertação às pessoas que foram e sempre serão muito importantes em minha vida.

A minha mãe (In memórian) por cada gesto de carinho e ensinamento que serão lembrados durante toda minha vida.

Ao meu Pai que sempre me ensinou a lutar pelos meus objetivos, reconhecendo o real valor de cada conquista por mais simples que ela seja.

Aos meus irmãos José Claudio, Lázaro e João Batista que sempre estiveram ao meu lado, dando todo apoio que eu precisasse.

As minhas irmãs Maria da Glória, Claudisse, Magnólia e Rozane, que sempre me deram força e estímulo para continuar nessa caminhada.

A minha irmã Roseli, pelos conselhos e incentivo durante toda minha vida, contribuindo desde o início de minha formação acadêmica.

A todos os meus amigos que foram muito importantes nos momentos difíceis assim como nos momentos de felicidade e nas comemorações.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado saúde e a oportunidade de estudar na maravilhosa Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, que me proporcionou alegrias e muitos conhecimentos ao longo dos anos que aqui estive.

Ao meu orientador Everaldo Zonta pela amizade, orientação, contribuição e paciência em todos os momentos durante o mestrado e toda minha formação acadêmica.

Aos professores Eduardo Lima e Nelson Mazur que também fizeram parte dessa jornada e pelo apoio durante essa minha formação.

Aos doutorandos Juliano Bahiense Stafanato, Fabiano Prates, Fabio Freitas e Hugo Zoffoli pela amizade e disposição em ensinar e ajudar nesse momento tão importante em minha vida.

Ao doutorando Jair Guedes por toda contribuição e apoio na realização das análises que foram tão importantes na conclusão do mestrado.

Ao mestrando José Antônio e ao estagiário Fernando Grégio por toda ajuda, apoio e amizade nesse momento de minha formação acadêmica.

Ao CPGA-CS e a CAPES, pela oportunidade de cursar o mestrado e pela concessão da bolsa de mestrado.

A todos os funcionários do Departamento de Solos, em especial ao Roberto e ao Marquinhos pelos pedidos atendidos.

Aos meus pais, em especial Dona Margarida (In memórian), que muito incentivou para que eu chegasse até esse momento, sempre me ensinando a respeitar o próximo e lutar pelos meus sonhos.

Ao todos meus irmãos e irmãs que sempre estiveram presentes e prontos a me ajudar nos momentos em que precisei deles.

Aos grandes amigos e irmãos Devis Araújo e Hugo Oliveira Leite, pelo apoio e conselhos nos momentos de dificuldade e indecisão, sempre me fortalecendo quando mais precisei.

BIOGRAFIA

Rosimar de Souza Goulart filho de João Justino Goulart e Margarida Emília Goulart, nasceu na cidade de Monte Belo – MG em 31 de maio de 1980. Iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 2003, diplomando-se em 2009. Durante a graduação foi estagiário do laboratório de Fertilidade do Solo da UFRRJ entre 2003 e 2006, bolsista de Iniciação Científica pelo CNPq, área de Fertilidade do Solo de 2007 a 2008 sob a orientação do Dr. Everaldo Zonta. Em março de 2010 ingressou no Mestrado no Curso de Pós-Graduação em Agronomia -Ciência do Solo na UFRRJ.

RESUMO GERAL

GOULART, Rosimar de Souza. **Avaliação de fontes de fertilizantes nitrogenados nas culturas de cana-de-açúcar, algodão e milho.** 2012. 85f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

Diante da importância da fertilização nitrogenada para as culturas e visando o aumento de produtividade em função de um maior aproveitamento dos fertilizantes aplicados, torna-se necessário a aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados mais eficientes para as culturas. Este trabalho teve como objetivo estudar e avaliar diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados aplicados no momento do plantio, para as culturas de cana-de-açúcar, algodão e milho, cultivadas em material de solo de Planossolo Háptico. Os estudos foram realizados em casa de vegetação, com condições controladas de temperatura e umidade, localizada na área experimental do Departamento de Solos da UFRRJ. Foram conduzidos ensaios em épocas distintas com as culturas de cana-de-açúcar, algodão e milho. Para a cana-de-açúcar e o algodão as plantas foram crescidas por um período de 60 dias, já para a cultura do milho foram realizados dois ensaios, em diferentes épocas, correspondendo a 60 dias de cultivo para o primeiro ensaio e 30 dias para o segundo ensaio. Para todas as culturas, ao final do respectivo período de cultivo, foram feitas avaliações quanto aos parâmetros fenológicos (altura, massa seca de parte aérea, massa seca de raiz), e ao acúmulo de N na massa seca de parte aérea, acúmulo de N na massa seca de raiz, assim como também o teor de N total e N mineral no solo onde as plantas foram cultivadas. Dessa forma, foram realizados três experimentos, cujos dados são apresentados em três capítulos, com o objetivo de estudar e avaliar a eficiência das diferentes fontes de fertilizantes em fornecer nitrogênio para as culturas citadas. O pastilhamento de ureia com sulfato de amônio e enxofre elementar com bentonita (ureia-SHoB) e somente com enxofre elementar na presença de bentonita (ureia-SoB), como também a associação somente de bentonita na ureia pastilhada (ureia-B), apresentaram resultados positivos quando aplicado na maior dose (200 kg N ha^{-1}) em relação aos parâmetros avaliados (N total no solo, N acumulado na massa seca de parte aérea e N acumulado na raiz) para a cultura da cana-de-açúcar. O pastilhamento de ureia com sulfato de amônio, enxofre elementar e bentonita (ureia-SHoB) resultou em maior acúmulo de nitrogênio nas plantas de algodão, quando aplicados 50 kg N ha^{-1} , apresentando-se significativamente superior aos demais fertilizantes pastilhados e comerciais. Quanto ao efeito dos fertilizantes pastilhados no desenvolvimento das plantas de milho, todos os pastilhados de ureia apresentaram resultados satisfatórios, principalmente quando utilizado a menor dose de N (50 kg ha^{-1}) no plantio, já que estes produtos não apresentaram diferenças acentuadas em relação aos fertilizantes comerciais, especialmente, quando houve associação de duas fontes de N (ureia e sulfato de amônio) e a associação destes com enxofre elementar na presença de bentonita, onde os pastilhados ureia-SH e ureia-SHoB resultaram em maiores acúmulos de N nas plantas.

Palavras-chave: Nitrogênio. Perdas. Enxofre elementar. Eficiência de adubação.

GENERAL ABSTRACT

GOULART, Rosimar de Souza. **Evaluation of sources of nitrogen fertilizers in the crops of sugarcane, cotton and corn.** 2012. 85p. Dissertation (Master in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

Due to the importance of nitrogen fertilization for the crops and aiming at increasing yield with the best usage of the applied fertilizers, it is necessary to apply efficient nitrogen fertilizer sources in crops. This work was intended to study and to evaluate different nitrogen fertilizer sources applied at the planting, for sugar cane, cotton and corn. The plants were grown in material from a Fragiudult soil, in a greenhouse under controlled temperature and humidity, located in the experimental area of the Soils Department of the UFRRJ. Assays were conducted at distinct times with the crops of sugar cane, cotton and corn. For sugar cane and cotton, the plants were grown for a 60 day period. For the corn, two assays were carried out in different times, corresponding to 60 days cultivation for the first assay and 30 days for the second. For all the crops at the end of the respective growing period, the phenological parameters (height, dry matter of the shoot, dry matter of root) were evaluated, plus the N accumulation in the shoot dry matter, the N accumulation in the root dry mass, and the content of total N and mineral N in the soil. Three experiments were undertaken, the results of which are presented in three chapters, and their objectives were to study and to evaluate the efficiency of the different sources of fertilizers in supplying nitrogen to the separate crops. Urea pelletizing with ammonium sulfate and elementary sulfur in bentonite (urea-SHoB), and only with elementary sulfur in the presence of bentonite (urea-SoB) as well as the association only of bentonite in the pelletized urea (urea-B), presented positive results when applied at the greatest dose (200 kg N ha^{-1}) in relation to evaluated parameters (total N in soil, N accumulated in the shoot dry mass and root-accumulated N) for the sugarcane. Urea pelletizing with ammonium sulfate, elementary sulfur and bentonite (urea-SHoB) resulted into increased nitrogen accumulation in the cotton plants when 50 kg N ha^{-1} were applied, proving significantly higher than the other pellets and commercial fertilizers. As to the effect of pelletized fertilizers in the development of the corn plants, all the urea pellets presented satisfactory results, mainly when the lowest dose of N (50 kg ha^{-1}) was utilized at the planting. These products presented no noticeable differences in relation to commercial fertilizers, specially, when there was association of two N sources (urea and ammonium sulfate), and association of these with elementary sulfur in the presence of bentonite, where the urea-SH and urea-SHoB pellets resulted into greater accumulations of N in the plants.

Key words: Nitrogen. Losses. Elementary sulfur. Fertilization efficiency.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Resultados da análise química do Planossolo de textura arenosa utilizado, onde m-saturação por Al; n-saturação por Na. 17
- Tabela 2:** Análise granulométrica do Planossolo de textura arenosa. 18
- Tabela 3:** Caracterização química dos Fertilizantes Pastilhados NS e dos fertilizantes comerciais utilizados como testemunha e descrição das matérias primas e as suas concentrações de N, S e Bentonita. 19
- Tabela 4:** Parâmetros fenológicos analisados para cana-de-açúcar Variedade RB 867515 após 60 dias do plantio com a aplicação das doses referentes a 100 e 200 kg N ha⁻¹ de diferentes fertilizantes nitrogenados. 23
- Tabela 5:** Teor de N total no solo, N total acumulado na massa seca de parte aérea (colmo + folha) e acumulado na massa seca de raiz após 60 dias de cultivo da cultura da cana-de-açúcar com aplicação das doses de 100 e 200 kg N ha⁻¹ de diferentes fertilizantes nitrogenados. 31
- Tabela 6:** Teores de amônio (NH₄⁺) e nitrato + nitrito (NO₃⁻ + NO₂⁻) no solo após 60 dias de cultivo com a cultura da cana-de-açúcar e aplicação das doses de 100 e 200 kg N ha⁻¹ a partir de diferentes fertilizantes nitrogenados. 34
- Tabela 7:** Parâmetros fenológicos analisados para a cultivar de algodão BRS 293 60 dias após o plantio com a aplicação das doses de 50 e 100 kg N ha⁻¹ a partir de diferentes fertilizantes nitrogenados. 42
- Tabela 8:** Teor de N total no solo, N total acumulado na massa seca de parte aérea e na massa seca de raiz para a cultivar de Algodão BRS 293 após 60 dias de cultivo com aplicação das doses de 50 e 100 kg N ha⁻¹ de diferentes fertilizantes nitrogenados. 50
- Tabela 9:** Teores de amônio (NH₄⁺) e nitrato + nitrito (NO₃⁻ + NO₂⁻) no solo 60 dias após o plantio do Algodão Cultivar BRS 293 com a aplicação de doses referente a 50 e 100 kg N ha⁻¹ a partir de diferentes fertilizantes nitrogenados. 53
- Tabela 10:** Características fenológicas da Cultivar de Milho BRS Sol da Manhã 60 dias após o plantio com aplicação de dose referente a 50 kg ha⁻¹ a partir dos diferentes fertilizantes nitrogenados. 63
- Tabela 11:** Teores de N total no solo, nitrogênio total acumulado na massa seca de parte aérea e na massa seca de raiz para cultivar de milho BRS Sol da manhã 60 dias após o plantio com aplicação de dose referente a 50 kg N ha⁻¹ a partir de diferentes fertilizantes nitrogenados. 66
- Tabela 12:** Teores de amônio (NH₄⁺) e nitrato + nitrito (NO₃⁻ + NO₂⁻) no solo, 60 dias após o plantio da cultivar de milho BRS Sol da manhã com aplicação de dose referente a 50 kg ha⁻¹ a partir de diferentes fertilizantes nitrogenados. 67
- Tabela 13:** Características fenológicas da Cultivar de Milho BRS Sol da Manhã 30 dias após o plantio com aplicação de dose referente a 100 kg ha⁻¹ a partir dos diferentes fertilizantes nitrogenados. 70
- Tabela 14:** Teores de N total no solo, nitrogênio total acumulado na massa seca de parte aérea e na massa seca de raiz para cultivar de Milho BRS Sol da manhã 30 dias após o

plantio com aplicação de dose referente a 100 kg N ha^{-1} a partir dos diferentes fertilizantes nitrogenados. 72

Tabela 15: Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato + nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) no solo 30 dias após o plantio da Cultivar de Milho BRS Sol da manhã com aplicação de dose referente a 100 kg N ha^{-1} a partir dos diferentes fertilizantes nitrogenados. 74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Casa de vegetação climatizada onde foram instalados os experimentos. 17

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	1
2	REVISÃO DE LITERATURA GERAL	2
2.1	Nitrogênio e Fertilizantes Nitrogenados	2
2.2	Formas de N Presentes no Solo	3
2.3	Perdas de N por Lixiviação e/ou Volatilização	4
2.4	Enxofre	5
2.5	Bentonita	7
2.6	Cultura da Cana-de-açúcar, Algodão e Milho	7
2.6.1	Cana-de-açúcar	7
2.6.2	Algodão	9
2.6.3	Milho	10
3	CAPITULO I AVALIAÇÃO DE FONTES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EM FORNECER NITROGÊNIO PARA A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR (<i>Saccharun officinarum</i>)	13
3.1	Resumo	14
3.2	Abstract	15
3.3	Introdução	16
3.4	Material e Métodos	17
3.4.1	Localização da área experimental	17
3.4.2	Solo utilizado	17
3.4.3	Caracterização dos fertilizantes pastilhados	18
3.4.4	Variedade de cana-de-açúcar utilizada	19
3.4.5	Procedimentos adotados na montagem do experimento	20
3.5	Resultados e Discussão	23
3.5.1	Parâmetros fenológicos	23
3.5.2	Nitrogênio total no solo, parte aérea e na raiz	27
3.5.3	Nitrogênio Mineral no Solo	31
3.6	Conclusões	35
4	CAPITULO II AVALIAÇÃO DE FONTES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EM FORNECER NITROGÊNIO PARA A CULTURA DO ALGODÃO (<i>Gossypium hirsutum</i>)	36
4.1	Resumo	37
4.2	Abstract	38
4.3	Introdução	39
4.4	Material e Métodos	40
4.4.1	Condução do ensaio experimental com algodão	40
4.4.2	Cultivar de algodão utilizada	40
4.4.3	Procedimentos experimentais realizados para a cultura do algodão	40
4.4.4	Análise estatística	41
4.5	Resultados e Discussão	42
4.5.1	Parâmetros fenológicos	42
4.5.2	Nitrogênio total no solo, parte aérea e na raiz	45
4.5.3	Nitrogênio Mineral no Solo	50
4.6	Conclusões	54

5	CAPÍTULO III AVALIAÇÃO DE FONTES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS QUANTO AO FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO PARA A CULTURA DO MILHO (<i>Zea mays</i>)	55
5.1	Resumo	56
5.2	Abstract	57
5.3	Introdução	58
5.4	Material e Métodos	59
5.4.1	Condução do experimento	59
5.4.2	Cultivar de milho	59
5.4.3	Procedimentos experimentais	60
5.5	Resultados e Discussão	62
5.5.1	Ensaio com a cultura do milho com aplicação de 50 kg N ha ⁻¹	62
5.5.2	Ensaio com a cultura do milho com aplicação de 100 kg N ha ⁻¹	68
5.6	Conclusões	75
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

1 INTRODUÇÃO GERAL

No atual cenário de agricultura moderna, devido à necessidade de obtenção de altas produtividades, a intensificação de práticas agrícolas explorando o solo aumentou consideravelmente. Com isso, têm sido aplicadas ao solo grandes e inadequadas quantidades de insumos, o que caracteriza a agricultura moderna como uma atividade que apresenta grande potencial poluidor do ambiente, aliado a utilização de práticas inadequadas de manejo do solo sendo fatores que aceleram fortemente a degradação do solo, conseqüentemente diminuindo o seu potencial agrícola.

Particularmente, o nitrogênio (N) é um dos elementos exigidos em maior quantidade pelas plantas e a capacidade do solo em fornecer esse nutriente à cultura, ao longo do seu ciclo é restrita. Assim, uma prática comumente utilizada é a complementação através da adubação feita com a aplicação de fertilizantes nitrogenados, visando suprir a demanda deste nutriente pela cultura.

Porém, somente parte do N aplicado ao solo é utilizada pela planta, pois grande percentual pode ser perdido por lixiviação, volatilização e desnitrificação, resultando em baixa eficiência do fertilizante aplicado. Essa eficiência agrônômica da adubação nitrogenada depende de condições edáficas e meteorológicas e também de características da planta, como a taxa de absorção e a eficiência de utilização do nutriente (Muurinen et al., 2006).

A ureia, devido ao seu baixo custo relativo, à alta solubilidade em água e a boa assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas, é considerada como um dos fertilizantes nitrogenados mais importantes. Porém, esse fertilizante apresenta limitações quanto às perdas do nitrogênio (N) que podem comprometer sua eficiência. A principal forma de perda de N, através da hidrólise da ureia, é a volatilização da amônia.

As perdas de N que ocorrem pela volatilização da amônia, decorrentes da aplicação de fertilizantes nitrogenados ao solo, podem ser reduzidas, com a utilização de ácidos (H_3PO_4 , H_2SO_4 e HNO_3), sais (de cálcio, magnésio, amônio e potássio) e inibidores da urease adicionados aos fertilizantes. Ainda a mistura de ureia com outros fertilizantes nitrogenados, como nitrato de amônio ou sulfato de amônio, também podem reduzir as perdas de N por volatilização de NH_3 .

O presente trabalho teve como objetivo estudar e avaliar diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados, aplicados no momento do plantio, para as culturas de cana-de-açúcar, algodão e milho, cultivadas em casa de vegetação sob condições controladas de temperatura e umidade.

Através deste trabalho, testou-se a hipótese científica de que os fertilizantes pastilhados, contendo nitrogênio, enxofre e/ou bentonita, sejam capazes de aumentar a eficiência do uso de N- ureia, reduzindo as perdas por volatilização de $N-NH_3$ em função da utilização de bentonita e da fonte de enxofre empregada, que no contexto serão chamados “fertilizantes pastilhados” ou simplesmente “pastilhados”, em função da técnica utilizada para sua produção.

Dessa forma, foram realizados estudos, para os quais os dados estão organizados em três capítulos. No primeiro capítulo estão descritos os resultados para a cultura da cana-de-açúcar, no segundo capítulo para a cultura do algodão e o terceiro capítulo descrito os resultados para a cultura do milho.

2 REVISÃO DE LITERATURA GERAL

2.1 Nitrogênio e Fertilizantes Nitrogenados

O nitrogênio, dentre os elementos minerais necessários ao desenvolvimento das plantas, é o que mais limita o crescimento vegetal, pois é considerado um elemento com função estrutural nos vegetais, uma vez que participa da formação da molécula de um ou mais compostos orgânicos (Malavolta, 2006). Segundo Raij (1991) o N é o nutriente mineral exigido em maior quantidade pelas culturas, sendo também o nutriente mais utilizado em forma de fertilizante, e que normalmente, apresenta maior resposta em produtividade, no entanto, seu aproveitamento pelas plantas pode ser afetado por diversos fatores. Sendo assim, o N tornou-se objeto de vários estudos, a maioria realizada com o objetivo de avaliar seu padrão no solo e a sua relação com a eficiência da adubação.

A eficiência agrônômica da adubação nitrogenada está diretamente relacionada com as condições de solo, clima e também com as características apresentadas pela planta, como a taxa de absorção do nutriente e a eficiência de utilização do mesmo (Muurinen et al., 2006). De acordo com Wanser & Mundstock (2007), a eficiência agrônômica da adubação nitrogenada em cultivo de plantas, também pode ser afetada através de práticas de manejo como: época, método de aplicação e tipo de fertilizante aplicado.

Uma vez que o nitrogênio é elemento que participa da constituição de proteínas, ácidos nucleicos e de outros constituintes celulares, incluindo membranas e diversos hormônios vegetais, sua deficiência se manifesta em forma de clorose gradual das folhas mais velhas com conseqüente redução do crescimento da planta, onde a planta inicialmente, em função das reservas da parte aérea, apresenta um maior alongamento do sistema radicular, como uma tentativa de buscar o nutriente (Souza & Fernandes, 2006).

O nitrogênio (N) pode entrar no sistema solo-planta por meio de descargas elétricas, fixação biológica simbiótica ou não simbiótica, ou por meio de adubações químicas ou orgânicas. Em contra partida pode sair do meio através da extração promovida pelas culturas, pela perda de solo proveniente de escoamento superficial e por vários outros mecanismos de perdas como lixiviação, volatilização e desnitrificação. O nitrogênio tem seu ciclo controlado por fatores químicos, físicos e biológicos podendo ser afetado por condições climáticas, difíceis de serem previstas e controladas (Cantarella, 2007).

As perdas gasosas de N podem ser influenciadas por diversos fatores do solo como: pH, poder tampão, textura, mineralogia da fração argila, umidade, capacidade de troca catiônica (CTC), teor de matéria orgânica e o potencial redox. Podendo ainda ser influenciadas por condições de oxi-redução ou a presença/adição de potássio que podem competir pelos sítios de adsorção de $N-NH_4^+$, contribuindo para reduzir a sua adsorção, e dessa forma favorecendo as perdas por volatilização (Costa et al, 2004). Pois, a principal forma de perda de N, através da hidrólise da ureia, é a volatilização da amônia.

No mundo, o cultivo de cereais como arroz, trigo e milho, é responsável pelo consumo de aproximadamente 60% do N total utilizado como fertilizante e respondem por cerca de 1/3 da proteína total consumida.

Estima-se que até 2050 a população do planeta atinja 9,3 bilhões de habitantes sendo necessário aumentar em 50 a 70% a produção de cereais como arroz, milho e trigo. Dessa forma, se não houver um aumento na eficiência de adubação, deverá ocorrer um grande aumento em relação ao uso de fertilizantes nitrogenados. Diante disso torna-se evidente a necessidade em aumentar a eficiência do uso de N (Boaretto et al., 2007). No ano de 2007, as importações para atender a demanda total de fertilizantes nitrogenados consumidos no Brasil,

atingiram 88,3 % para sulfato de amônio, 73,0 % para ureia (3º maior importador), 76,9 % para nitrato de amônia. Entre os anos de 1994 a 2007, o consumo de fertilizantes no Brasil cresceu à taxa de 6,32% a.a. e atingindo os 29,77 milhões de toneladas em 2007. O consumo de fertilizante aumentou quase três vezes em termos de volumes físicos entre 1994 e 2007 (Anda, 2008).

No Brasil, estudos sobre a demanda por nitrogênio indicaram como principais culturas consumidoras de fertilizantes nitrogenados o milho, café, cana-de-açúcar e algodão, sendo que no futuro, essas culturas serão responsáveis por um consumo aproximadamente 80% do N disponível no País (Facre, 2007).

A ureia, o sulfato de amônio, o fosfato monoamônio (MAP), o nitrocálcio, a amônia anidra, a aquamônia, o uran, o fosfato diamônio (DAP), o nitrato de sódio, o nitrato de cálcio e o nitrofosfatos são os principais fertilizantes nitrogenados consumidos em todo mundo. Sendo que todos os fertilizantes nitrogenados derivam da amônia, matéria prima essencial para toda a linha de produção.

O sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, apesar de pouco concentrado em N (21%), ainda apresenta em sua composição 24% de enxofre (S), tornando-o importante, principalmente pela sua utilização em solos deficientes nesse elemento, que estão presentes em muitas regiões brasileiras. O sulfato de amônio apresenta ainda algumas vantagens em relação à ureia e a outras fontes nitrogenadas, pois possui baixa perda por volatilização de N e baixa taxa de nitrificação. Tais características proporcionam vantagens agronômicas, levando com frequência, a rendimentos elevados e à melhoria na qualidade do produto agrícola (Collamer et al., 2007).

O sulfato é produzido a partir da reação direta entre ácido sulfúrico e amônia, resultando em um produto sólido granulado ou em forma de cristal (farelado). Sendo que quando utilizado em excesso pode levar a acidificação do solo, necessitando de correção. Uma vez que os solos do Brasil apresentam baixos teores de enxofre, classificando-os como carente nesse elemento, a utilização de sulfato de amônio tem se tornado comum, principalmente em culturas como cana-de-açúcar e milho. O consumo de sulfato de amônio no Brasil no ano de 2006 atingiu a marca de 1.820.000 toneladas, sendo que deste total 87% foram provenientes de importações. Fazendo com que o Brasil se tornasse mundialmente o maior importador de sulfato de amônio (Franco et al., 2007).

A ureia $(\text{NH}_2\text{CONH}_2)$ é um fertilizante sólido, que se apresenta na forma de perolada ou granulada, e apresenta como característica principal o N na forma amídica (NH_2) . A ureia apresenta como principal vantagem em sua utilização a maior concentração de N (46%), entre todas as fontes nitrogenadas, resultando em menores gastos com transporte, armazenamento e aplicação, apresentando ainda alta solubilidade, baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes (Melgar et al., 1999). A utilização da ureia, assim como outras fontes nitrogenadas, apresenta também desvantagens como sua elevada higroscopicidade, possibilidade de apresentar biureto gerado durante processo de produção, apresenta ainda incompatibilidade com fosfatos e maior suscetibilidade de perdas por volatilização. A produção mundial de ureia em 2007 atingiu 134,7 milhões de toneladas do produto, sendo que China e Índia foram responsáveis por 49% dessa produção. Por outro lado, 54% do mercado são detidos nas mãos desses países (Franco et al., 2007).

2.2 Formas de N Presentes no Solo

O nitrogênio pode estar presente no solo na forma orgânica e/ou inorgânica. Sendo que está presente em torno de 98% em sua forma orgânica, podendo passar para a forma mineral com o passar do tempo, através da hidrólise enzimática, que ocorre em função da atividade microbiológica do solo, pelo processo de mineralização (Camargo et. al. 1997; Tisdale et. al.

1993). O nitrogênio presente na forma orgânica, através do processo de mineralização, libera íons inorgânicos de N para a solução do solo. Sendo que estes íons podem ser adsorvidos ao solo, absorvidos pelas plantas ou perdidos das camadas superficiais do solo por lixiviação, ou ainda volatilizados para a atmosfera na forma de gases (NH_3 , N_2 , N_2O). As principais formas de N originadas pelo processo de mineralização do N orgânico são nitrato (N-NO_3^-) e amônio (N-NH_4^+). Podendo também estes, ser oriundos de fertilizantes nitrogenados adicionados em forma de adubação. O nitrogênio depois de aplicado ao solo e mineralizado, poderá ser absorvido pelas plantas na forma iônica de nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+), ou pode ainda perder-se pelo processo de lixiviação e/ou volatilização de N-NH_3 ou pelas formas gasosas (N_2 e N_2O). Segundo (Urquiaga et al., 1993), o nitrogênio pela ação de microrganismos, poderá ainda ficar imobilizado no solo, e ser gradualmente transformado permanecendo em formas estáveis de N.

Com a desnitrificação, processo respiratório que acontece na ausência de O_2 , os óxidos de N servirão como receptores finais de elétrons. Segundo (Linn e Doran, 1984), citado por Haim (2009), quando o solo encontra-se saturado, as perdas por desnitrificação podem significar grandes perdas do nitrogênio do solo.

2.3 Perdas de N por Lixiviação e/ou Volatilização

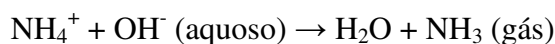
A lixiviação de N acontece quando um elemento ou molécula é arrastado ao longo do perfil na solução do solo, geralmente pela ação da água, saindo do ambiente explorado pelo sistema radicular de uma planta, podendo ter como conseqüências, redução na eficiência da adubação nitrogenada, diminuição da fertilidade do solo e até a contaminação de águas subterrâneas (Bologna et. al. 2006).

Nos solos agricultáveis onde não há restrição de oxigênio, a forma mineral de nitrogênio predominante é o nitrato (N-NO_3^-). O nitrato é muito solúvel em água, e devido à camada arável apresentar maior número de cargas negativas, a adsorção eletrostática deste íon se torna quase insignificante. Sendo assim o nitrato estará livremente na solução do solo, o que se torna uma condição favorável para que este íon seja arrastado ao longo do perfil para fora da área de exploração do sistema radicular efetivo, através do processo de lixiviação (Ceretta e Fries, 1997).

O processo de lixiviação pode ser influenciado fortemente pela classe textural do solo. A maior capacidade de retenção de nitrogênio é conferida por solos de textura argilosa, principalmente na forma de N-NH_4^+ , enquanto solos arenosos apresentam menor capacidade de retenção. Os solos argilosos por apresentarem elevada capacidade de armazenamento de água conferem uma menor movimentação da água pelo perfil, apresentando como conseqüência um menor arraste de nitrato (NO_3^-) para as camadas subsuperficiais do solo (Bortolini, 2000; Camargo, 1989).

A forma de aplicação do fertilizante nitrogenado é outro fator que também pode influenciar nas perdas de N por volatilização. Quando a aplicação do fertilizante é feita em superfície e em solo seco as perdas de N-NH_3 por volatilização são potencialmente elevadas (Bouweester et al., 1985).

Com a hidrólise da ureia e a passagem do N-NH_3 presente no solo para atmosfera o processo de volatilização se dá (Diest, 1988), conforme mostrado pela reação a seguir:



A perda de N por volatilização é resultante da mineralização da matéria orgânica ou do fertilizante aplicado, sendo que esse processo pode ser mais pronunciado quando ocorre a elevação do pH do solo (Melo, 1978). A ureia uma vez aplicada ao solo, na presença de água e de urease, será rapidamente hidrolisada em dois ou três dias (Byrnes, 2000). Normalmente a

volatilização de $N-NH_3$ é um processo que ocorre na semana após aplicação do fertilizante nitrogenado (Diest, 1988). Dessa forma, a ureia aplicada ao solo, sofre o processo de perda $N-NH_3$ por volatilização envolvendo inicialmente, a hidrólise catalizada pela urease, que é uma enzima extracelular que está presente no solo, originada pela decomposição de restos vegetais ou produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo.

As perdas de NH_3 por volatilização podem ser reduzidas através da utilização de mistura de ureia com outros fertilizantes nitrogenados, podendo ocorrer redução em proporção a concentração dos fertilizantes estáveis em condições ácidas de solo, na formulação. Sulfato de amônio ou nitrato de amônio (uran) adicionados a ureia são exemplos de misturas de fertilizantes nitrogenados (Lara Cabezas et al., 1992; Costa et al., 2003; Vitti et al., 2005).

Haim (2009) mostrou que a mistura de ureia com sulfato de amônio, em forma de um produto pastilhado promoveu redução das perdas por volatilização do N proveniente da ureia. Através de alguns experimentos foi mostrado que a acidez conferida pelo sulfato de amônio promoveu a redução nas perdas de $N-NH_3$ em proporção um pouco acima da sua capacidade em contribuir com o nitrogênio da mistura com ureia (Watson, 1988; Oenema e Velthof, 1993).

O sulfato de amônio é um fertilizante usado como fonte de nitrogênio e enxofre, e que por apresentar o nitrogênio na forma amoniacal, não sofre perdas por volatilização quando o pH é inferior a 7, mesmo quando aplicado sobre restos de cultura (Volk, 1959). De acordo com Lara Cabezas et al.(1997), o sulfato de amônio não apresenta perdas consideráveis de amônia, de modo peculiar em solos ácidos, embora o custo unitário de N seja superior ao da ureia. A ureia aplicada misturada com sulfato de amônio apresenta menor recuperação de nitrogênio do que quando a aplicação de ureia é feita por mistura com sulfato de amônio no mesmo grânulo (Villas Boas, 1995).

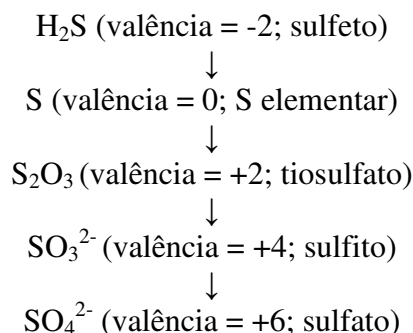
De acordo com os resultados apresentados por Lara Cabezas e Souza (2008), o sulfato de amônio contribuiu reduzindo as perdas gasosas de $N-NH_3$ ocasionadas pela hidrólise da ureia, quando se aplicou ureia misturada com sulfato de amônio em cultura de milho de resíduo.

2.4 Enxofre

O enxofre é encontrado geralmente como sulfatos, sulfetos e até mesmo como enxofre elementar, acredita-se que ele seja o nono elemento mais abundante da crosta terrestre. Pode ser encontrado também nos carvões, petróleo e gás natural, sob a forma de compostos orgânicos. Na natureza, é encontrado principalmente em depósitos vulcânicos ou sedimentares, na forma de S livre (Stipp e Casarin, 2010).

Nas plantas o enxofre (S) é encontrado, na maior parte, em proteínas (cisteína e metionina, aminoácidos essenciais). Seus teores totais podem variar entre 0,1 a 0,5% da matéria seca, sendo necessária adição de 10 a 50 kg ha⁻¹ de S por cada ano de produção. Nos agrossistemas o S pode apresentar quatro vias de transformações, sendo elas: mineralização, imobilização oxidação e redução. A conversão do S da forma orgânica a uma forma inorgânica, onde o sulfato é o produto final obtido como resultado da atividade microbiológica resultante do processo de mineralização, normalmente ocorre em solos sem restrição de oxigênio. Em solos com restrição de oxigênio, onde predominam condições anaeróbias, microrganismos a partir de proteínas como cisteína, cistina e metionina reduzem o S a H_2S . A passagem do enxofre da forma inorgânica para uma forma orgânica incorporada ao tecido vegetal ou microbiano consiste no processo denominado imobilização. Antes de passar a fazer parte de um aminoácido, o sulfato absorvido é reduzido a sulfidrilo (-SH; valência = -2).

Na natureza o ciclo do S apresenta cinco níveis de oxidação ou de valência, sendo eles (Trivelin e Vitti, 2005):



O enxofre elementar deve ser oxidado a sulfato, pela ação de microrganismos do solo, para que se torne disponível as plantas. Sendo a taxa de oxidação influenciada por diversos fatores, como por exemplo, o tamanho que a partícula de enxofre elementar apresenta umidade, temperatura e tipo de solo (Horowitz & Meurer, 2006).

Os compartimentos de enxofre no solo são de origem natural e antropogênica. De acordo com Krouse et al. (1996) as principais formas de entrada de S no solo pode ocorrer pelo intemperismo de minerais sulfatados (rocha de origem), por deposições atmosféricas, pela adição de fertilizantes minerais, corretivos e pesticidas, por adição de resíduos orgânicos. Em contra partida, as saídas deste elemento estão relacionadas a exportações pelas culturas, lixiviação, erosão, queimada e emissão de gases sulfurados. A incorporação de enxofre ao solo por meio de formas gasosas de S acontece através de deposições atmosféricas ou pela dissolução na água da chuva, variando de uma região para outra, apresentando maior importância próxima a áreas urbanas e industriais (Alvarez et al., 2007).

O Brasil, em função de possuir uma baixa produção de enxofre elementar, importa cerca de 90% do que consome, apresentando um consumo anual em torno de 1,6 milhões de toneladas (Stipp e Casarin, 2010).

O enxofre teve seu reconhecimento como nutriente necessário ao desenvolvimento das plantas a mais de 200 anos (Duke e Reisenauer, 1986). A produção agrícola pode ser limitada em função da deficiência de enxofre, sendo que no Brasil esse é um fator que limita a produção em grandes áreas, principalmente na região dos Cerrados (Horowitz e Meurer, 2005).

O superfosfato simples (12% de S-sulfato) e o sulfato de amônio (24% de S-sulfato) são as fontes de enxofre comumente mais utilizadas na adubação, seja pelo uso isolado ou como componente de fórmulas comerciais combinadas, que possuem baixa concentração em NPK. Matérias-primas que possuem baixos teores de enxofre como superfosfato triplo (1% de S-sulfato) são utilizadas em fórmulas comerciais apresentam altas concentrações de NPK. Dessa forma, em solos que apresentam baixos teores de enxofre, o aporte desse elemento ao solo é feito com a adição de quantidades adequadas deste nutriente através da aplicação de fertilizantes com baixa concentração em NPK, o que ocasiona maiores custos com o transporte, armazenamento e aplicação (Horowitz e Meurer, 2005).

A utilização de fontes de enxofre capazes de elevar os teores desse elemento a níveis adequados, aplicadas em associação a formulações comerciais possuindo alta concentração NPK, torna-se necessária uma vez que preocupa em reduzir os custos de produção na agricultura brasileira. O enxofre elementar (99% S) apresenta destaque entre as fontes de enxofre, pois possibilita a obtenção de um fertilizante formulado com alta concentração NPK e ao mesmo tempo alto teor de enxofre (Horowitz e Meurer, 2005).

A utilização de uréia com recobrimento em proporções variáveis de enxofre elementar tem resultado em produtos com teores de S variando de 10% a 30%. Algumas empresas de

fertilizantes têm produzido produtos diferenciados com misturas de fontes de N e S, cujo objetivo tem sido, reduzir as perdas por volatilização de NH₃ além do fornecimento desses nutrientes (Vitti e Heirinchs, 2007).

2.5 Bentonita

A designação do termo bentonita surgiu nos Estados Unidos devido à localização do primeiro depósito comercial de uma argila plástica com alto teor de montmorilonita (Ferreira; Silva, 2008). A capacidade de aumentar várias vezes o seu volume inicial na presença de umidade é uma propriedade que caracteriza este tipo de argila. No ano de 1897, Knight reportou que uma argila característica encontrada em Fort Benton, Wyoming, EUA era comercializada por William Taylor desde 1888, que a denominou de taylorite, mudando em seguida para "bentonita", pois o termo taylorite já era utilizado (Darley e Gray, 1988).

Os Estados Unidos (EUA) é o maior produtor mundial de bentonita, apresentando um concentrado mercado e altos investimentos aplicados a esta indústria, resultando em diversificação no uso e na aplicação desse mineral (DNPM, 2009).

Geologicamente Ross e Sahronnom (1926) definiram a bentonita como uma rocha de origem ígnea, constituída principalmente por um argilomineral montmorilonítico (esmetítico) resultante da desvitrificação e uma posterior modificação química de um material vítreo, normalmente tufo ou cinza vulcânica, em ambientes alcalinos com pouca circulação de água.

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, bentonita consiste no nome genérico da argila composta, em sua maior parte, por argilominerais esmetíticos com teor entre 55% e 70%. O DNPM também considera como bentonitas as argilas que apresentam como características principais o alto poder de inchamento, ou seja, capazes de aumentar até 20 vezes seu volume inicial; capacidade de apresentar espaços interplanares de até 100 Å; alta superfície específica (até 800 m² g⁻¹); capacidade de troca catiônica (CTC) na faixa de 60 a 170 meq 100 g⁻¹ e tixotropia. Devido a essas características a bentonita apresenta propriedades bastante específicas que justificam uma vasta gama de utilização nos mais diversos segmentos industriais (DNPM, 2004).

As jazidas mundiais de bentonita são abundantes. No Brasil as reservas de bentonita foram estimadas em 32.095 x 10³ toneladas (t), apresentando 49,7 % do total concentrado no estado do Paraná, 27,7 % em São Paulo, 11,6 % Paraíba, 9,3 % Bahia e o Rio Grande do Sul 2,2 %. Mundialmente a produção bentonita aumentou em 6,5 % de 2010 para 2011, sendo este crescimento influenciado principalmente pelo aumento de produção dos principais produtores mundiais de bentonita, Estados Unidos e Turquia (DNPM, 2012).

2.6 Cultura da Cana-de-açúcar, Algodão e Milho

2.6.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) tem seu centro de origem no sudeste Asiático na região centrada em Nova Guiné e Indonésia (Mozambani et al., 2006). É uma espécie vegetal de grande importância para a agricultura brasileira e mundial. Segundo Daniels e Roach (1987), trata-se de uma espécie alógama, da família Gramíneae (Poaceae) tribo Andropogoneae, gênero *Saccharum*.

É uma cultura que apresenta capacidade produtiva com alto rendimento de matéria verde, energia e fibras, em curto período, sendo considerada uma das plantas com maior eficiência fotossintética. Plantada em larga escala em vários países das regiões tropicais e subtropicais, cuja produção é destinada para fabricação de açúcar, álcool e outros subprodutos. Entretanto, a presença de plantas com características desfavoráveis nas

plantações pode reduzir drasticamente o rendimento da cultura (Enriquez-Obregón et al. 1998).

A área plantada de cana-de-açúcar com destino ao setor sucroalcooleiro no Brasil para a safra 2012/2013 foi estimada em 8.576,1 mil hectares, distribuídos entre todos os estados produtores. Considerando a área total destinada ao cultivo de cana-de-açúcar no País, temos como maior produtor o estado de São Paulo com 4.426,45 mil hectares plantados representando 51,66%, seguido por Minas Gerais com 768,64 mil hectares (8,97%), Paraná com 614,01 mil hectares (7,17%), Goiás com 732,02 mil hectares (8,54%), Alagoas com 458,09 mil hectares (5,35%), Mato Grosso do Sul com 540,97 mil hectares (4,39%) e Pernambuco com 298,39 mil hectares (3,48%). Sendo que nos demais estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3% (Conab, 2012).

A lavoura de cana-de-açúcar continua em expansão no Brasil. As áreas em produção tiveram aumento considerável, sendo mais significativo nos Estados de: Mato Grosso do Sul (12,5%), Goiás (7,9), Espírito Santo (7,35%), Bahia (5,3%), Mato Grosso (5,5%) e Minas Gerais (3,5%). A área plantada com cana-de-açúcar apresenta expansão com comportamento diferenciado entre as regiões do País. O maior aumento foi apresentado pela região Sudeste, com 96,38% do total da nova área agregada, apresentando um acréscimo de 357.183 mil hectares à área já existente. Sendo 246.011 mil hectares em São Paulo e 106.640 mil hectares em Minas Gerais. A região Centro-Oeste também apresentou um aumento significativo com 188.396 mil hectares. Na região Sul o estado do Paraná deverá plantar 50.066 mil hectares com novas lavouras. A nova área de expansão no País deverá corresponder a um total de 618.056 mil hectares plantados. E a produtividade média brasileira estimada é de 70.289 kg ha⁻¹, sendo 2,9% maior que na safra 2011/2012, que foi de 68.289 kg ha⁻¹ (Conab, 2012).

O Brasil responde por 44% do comércio mundial de açúcar, consolidando-se como importante agente no mercado internacional (Conab, 2011).

Com uma produção de 600 milhões de toneladas de cana por ano, o Brasil ocupa o lugar de maior produtor mundial, seguido pela Índia, Tailândia e Austrália (Salvador, 2010).

A cana-de-açúcar é considerada como uma cultura que apresenta um alto poder de extração de nutrientes do solo, sendo o N requerido na ordem de 80 a 120 kg ha⁻¹ para alcançar produção em torno de 100 t ha⁻¹ de colmos frescos (Malavolta et al., 1974).

O cultivo de cana-de-açúcar no Brasil é realizado com doses consideradas relativamente baixas de N-mineral, uma vez que a cultura apresenta elevada extração, ficando evidente que a planta apresenta capacidade de obter N através de processos biológicos, conforme observado por Lima et al.(1987). Pois, de acordo com Urquiaga et al. (1992), tem sido identificado um número considerável de bactérias capazes de fixar N da atmosfera em associação com a cana-de-açúcar, cuja contribuição pode atingir até 210 kg N ha⁻¹ ano.

Dentre os nutrientes considerados essenciais, o nitrogênio é um dos mais absorvidos pela cultura, sendo menos absorvido apenas do que o potássio (Coleti et al., 2006). A cana-de-açúcar apresenta uma exportação de 0,7 a 1,1 kg de N para cada tonelada de colmo produzido (Coleti et al., 2006).

Trivelin et al. (2002b), calcularam que a exigência de N na cultura da cana-de-açúcar variou entre 1,6 a 1,7 kg por tonelada de colmo. Contudo, considerando-se a planta como um todo (parte aérea + parte subterrânea), os valores encontrados variaram de 2,1 a 2,4 kg de N para cada tonelada de colmo produzido. Diante destes resultados estima-se que para obter uma produção de 100 toneladas de colmo a cana-de-açúcar apresenta uma extração em torno de 200 a 300 kg de nitrogênio, sendo que desse valor 90 a 100 kg N é exportado com os colmos retirados do campo para serem processados.

O enxofre é exigido em menor quantidade que o nitrogênio pela cultura da cana-de-açúcar. De acordo com Malavolta (1994), para uma produção de colmos de

100 t ha⁻¹, a cana-de-açúcar acumula na parte aérea quantidade de enxofre variando entre 40 e 50 kg ha⁻¹.

Na fase em que a cultura se encontra em formação, a necessidade de N pela cana-de-açúcar é fundamental. Fase essa compreendida entre a germinação até o fechamento do canavial ocorrendo do terceiro ao quinto mês, e que irá influenciar diretamente na produtividade da cultura (Dillewijn, 1952).

Durante a fase jovem as plantas de cana-de-açúcar armazenam o nitrogênio para uma posterior utilização, indicando a remobilização deste nutriente dentro da planta, que ocorre após o quarto mês de plantio (Humbert, 1968).

2.6.2 Algodão

De acordo com o sistema de classificação botânica, o algodoeiro herbáceo pertence à classe das dicotiledôneas, à ordem Malvales, família Malvaceae, tribo Hibisceae, gênero *Gossypium* e espécie *Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch (Lagiére, 1969).

É uma cultura que se propaga principalmente através de sementes, consistindo no processo de propagação sexuada (Beltrão e Souza, 1999).

A cultura do algodoeiro apresenta a fibra como principal produto de consumo em todo mundo, sua exploração consiste ainda na produção de óleo bruto, torta, linter, além da casca e resíduo. Dessa forma o algodoeiro tornou-se uma das plantas mais cultivadas pelo homem, sendo considerada a mais importante fibra têxtil natural, seja pela multiplicidade dos produtos dela originados, ou pela posição que ocupa no setor sócio-econômico, consistindo em uma das principais opções de cultivo para o Brasil, com um envolvimento direto ou indiretamente em diversos setores da sociedade, respondendo por cerca de 15% da economia do País (Beltrão et al., 1993).

O algodoeiro dentre as espécies vegetais cultivadas é uma das mais antigas do mundo. No Brasil, tem-se conhecimento de seu cultivo e utilização da fibra pelos indígenas, desde a época do descobrimento do País. A fibra do algodão pode ser utilizada em várias aplicações industriais e a semente, contendo alto teor de óleo (14 a 25%), ainda apresenta percentual protéico bruto em torno 20 a 25%. O óleo extraído da semente pode ser utilizado na alimentação humana e na fabricação de margarina e sabão. O bagaço, oriundo da extração do óleo, é um subproduto utilizado na alimentação animal, uma vez que apresenta um teor de proteína em torno de 40 a 45% (Caminha, 2000).

No Brasil a área plantada com algodão para safra 2011/2012 foi definida em 1.391,4 mil hectares, sendo esta 0,6% inferior aos 1.400,3 mil hectares plantados na safra 2010/2011 (Conab, 2012).

O Brasil foi o quarto maior produtor e exportador mundial de pluma de algodão na safra 2010/2011. O País tem apresentado os maiores níveis de produtividade entre os principais produtores mundiais. Apresentando produtividade média de 1.419 kg ha⁻¹ na safra 2009/2010, sendo este rendimento quase o dobro da média mundial de 733 kg/ha. Apesar de apresentar um leve declínio na safra 2010/2011, em função das condições climáticas, o Brasil ainda manteve uma produtividade de 1.322 kg ha⁻¹, sendo esta superior em relação à produtividade dos demais países, inclusive da China (1.289 kg ha⁻¹). Para safra 2011/2012 existem projeções de que a produtividade brasileira seja ainda superior a obtida em 2009/2010, chegando a 1.457 kg ha⁻¹, enquanto a média mundial deve permanecer em 751,5 kg ha⁻¹. De acordo com os dados do Comitê Internacional Consultivo do Algodão (Icac), destacaram-se como principais produtores mundiais de produção de algodão em pluma no ano de 2010 a China liderando com 6,4 milhões de toneladas, seguida pela Índia, com 5,3 milhões de toneladas, Estados Unidos, com 3,9 milhões e toneladas, e Brasil com 2 milhões de toneladas (Neves e Pinto, 2012).

A cultura do algodão se apresenta concentrada em duas principais regiões do País, sendo uma delas representada pelos seguintes estados: São Paulo, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás e Bahia (sul do estado). Estes estados são responsáveis pela obtenção das maiores produtividades com cultivo predominante de algodoeiro herbáceo. A outra principal região produtora é representada pelos estados do Norte e Nordeste, onde são cultivados o algodoeiro herbáceo e o perene (Cia et al., 1999).

O algodoeiro é uma cultura exigente em condições de clima e solo, necessitando de 140 a 160 dias de insolação para apresentar produção satisfatória e condições de temperaturas médias e precipitação acima de 20°C e 700 mm respectivamente. A cultura necessita de solos com média profundidade e fertilidade de média a alta (Gridd-Papp et al., 1992; Beltrão et al., 1993).

De acordo com (Carvalho et al., 1999), a extração de nutrientes pela cultura do algodoeiro apresenta grandes variações, podendo essas ocorrer em função da variedade, do clima, da capacidade produtiva e da fertilidade do solo, entre outras. O algodoeiro não é considerado uma cultura esgotante do solo, quando comparado a outras culturas de importância econômica, pois a quantidade de nutrientes exportadas da lavoura através das fibras e sementes é relativamente pequena. No entanto é uma cultura que exige relativamente grandes quantidades de nitrogênio, em comparação a demanda por outros elementos, para obtenção do rendimento máximo. Mesmo sendo a fibra quase desprovida de nitrogênio, as sementes o possui em grandes quantidades, uma vez que este elemento é responsável por várias funções na planta de algodão, podendo afetar assim o seu crescimento e desenvolvimento (Azevedo et al., 1998). O algodoeiro extrai em média de 60 a 70 kg N ha⁻¹ para cada tonelada de algodão em caroço produzida (Carvalho et al., 2007).

O nitrogênio é o nutriente extraído em maior quantidade do solo pelo algodoeiro, sendo fundamental para o desenvolvimento da cultura, principalmente dos órgãos vegetativos (Staut e Kurihara, 2001). Dessa forma o N constitui-se como elemento básico para o desenvolvimento da cultura do algodoeiro, influenciando diretamente na produção, no entanto seus efeitos estão relacionados com a disponibilidade de outros elementos no solo, como o fósforo e o potássio (Passos, 1980).

Segundo Tucker e Tucker (1968), citados por Ferreira (2003), a deficiência de nitrogênio pode reduzir a intensidade de floração e a duração do intenso florescimento, podendo ainda causar redução no tamanho das plantas em períodos iniciais crescimento. Já a aplicação excessiva de N pode promover estímulo ao crescimento vegetativo, causando prolongamento do ciclo da cultura. Podendo ainda resultar no desenvolvimento de plantas mais vigorosas que apresentam redução de frutificação, com abertura irregular e tardia de capulhos (Frye e Kairuz, 1990).

A quantidade de N a ser aplicada através da adubação nitrogenada para cultura do algodão deve ser determinada em função da produtividade esperada, do índice de colheita, do conteúdo de N apresentado pelo solo e da eficiência da fonte de nitrogênio (fertilizante) a ser utilizada. Pois, o algodoeiro irá apresentar resposta à adubação nitrogenada em função de diversos fatores, como: intensidade de exploração da área com o cultivo de outras culturas, cultura cultivada anteriormente e disponibilidade de outros nutrientes (Furlani Junior et al., 2001).

2.6.3 Milho

O milho (*Zea mays L.*) é uma gramínea pertencente à família *Poaceae*, tribo *Maydeae*, gênero *Zea* e espécie *Zea mays L.* Taxonomicamente é identificado como *Zea mays L. spp mays*, distinguindo-o de seu parente mais próximo (silvestre), o teosinto (Paterniani e Campos, 1999).

É cultivado em regiões onde a precipitação varia de 300 a 5.000 mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida por uma planta de milho durante o seu ciclo está em torno de 600 mm (Aldrich et al., 1982).

Uma vez que apresenta alto potencial produtivo e em função de sua composição química e seu alto valor nutricional, o milho tornou-se um dos principais e mais importantes cereais do mundo. O milho apresenta um importante papel social e econômico, pois devido a sua múltipla utilização na alimentação humana e animal, consiste em matéria-prima para diversos setores agro-industriais (Fancelli e Dourado Neto, 2004).

A utilização de milho entre a indústria de produção alimentícia e a produção de rações, movimentam um mercado de aproximadamente US\$ 40 bilhões anuais (Carneiro et al., 2000).

A partir dos anos 70 até recentemente, em função de fatores como o crescimento das indústrias de rações e das atividades de criação (principalmente avicultura, suinocultura e pecuária leiteira), o consumo interno de milho cresceu consideravelmente.

A estimativa da área de cultivo de milho para a safra 2011/12 é de 15.452,0 mil hectares com uma produtividade esperada de 4,31 ton ha⁻¹, o que deverá resultar em uma produção esperada de 65.903,0 mil toneladas de grãos. Considera-se que tanto a área plantada como a produção esperada seja recorde para a safra 2011/1012, sendo que esta maior produção nacional prevista se dará em função do aumento da área semeada, uso de tecnologia, condições climáticas favoráveis na maioria dos estados produtores, agricultura de precisão e o uso de sementes produzidas com alta tecnologia (Conab, 2012).

O milho além de sua importância econômica apresenta grande exigência em nitrogênio, o que faz com que a cultura seja muito influenciada pela adubação nitrogenada (Cantarella, 1993).

A cultura do milho, apesar de possuir grande importância para diferentes regiões do Brasil, apresenta particularidades relacionadas ao manejo em função de diferentes climas encontrados no País. Ficando sua produtividade dependente de diversos fatores, tais como o fornecimento adequado de nutriente à cultura (Silva et al., 2012).

O milho apesar de possuir um alto potencial produtivo no País, apresentando produtividades de 10 a 70 t ha⁻¹ de grãos e forragem, respectivamente, em condições experimentais ou por produtores tecnificados, na prática apresenta uma produção muito baixa e irregular, ficando entre 2,0 a 3,0 toneladas de grãos ha⁻¹ e 10,0 a 45,0 toneladas de forragem ha⁻¹. Essa baixa produtividade ocorre em função de fatores como: os baixos níveis de nutrientes presentes nos solos brasileiros, o uso incorreto de calagem e adubações, principalmente com o nitrogênio e o potássio, e a alta capacidade de extração do milho produzido para forragem. Pois o uso de fertilizantes na cultura do milho apresenta grandes variações entre as diversas regiões do país (Coelho e França, 1995).

A necessidade nutricional da planta se dá em função da quantidade de nutrientes extraídos durante seu ciclo. Onde a extração total está relacionada com o rendimento apresentado pela cultura, bem como a concentração de nutrientes nos grãos e na palhada (Coelho e França, 1995).

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura do milho, respondendo positivamente a sua adição em 80% dos casos estudados (Coelho, 2008). Quando as condições climáticas são favoráveis à cultura do milho, a quantidade de nitrogênio demandada para a otimização da produtividade de grãos pode atingir valores acima de 150 kg ha⁻¹, evidenciando a necessidade de utilização de fertilizantes nitrogenados para suprir a necessidade da cultura e restituir o N do solo (Amado et al., 2002).

Geralmente o nitrogênio é o elemento mais caro nos sistemas de produção, uma vez sua produção ocorre principalmente com a utilização de combustíveis fósseis não renováveis. Estando ainda sujeito a uma série de transformações no solo, em função do complexo ciclo que apresenta. Com isso torna-se indispensável o bom planejamento para a recomendação da

adubação nitrogenada, uma vez que a aplicação de N em quantidades excessivas ou em condições desfavoráveis poderá resultar em prejuízos econômicos e ambientais (Cantarella e Marcelino, 2008).

A maioria das fontes nitrogenadas utilizadas no Brasil para a cultura do milho é solúvel em água, como ureia, sulfato de amônio e nitrato de amônio, e apresentam rápida liberação das forma de N no solo prontamente assimiláveis pelas plantas (NO_3^- e NH_4^+), sendo essas formas passíveis de perdas nos sistema de produção agrícola (Cantarella e Marcelino, 2008).

A aplicação adequada do fertilizante nitrogenado em função da necessidade da cultura, considerando as características do produto utilizado, tem sido uma estratégia comumente utilizada. O parcelamento da adubação, visando o fornecimento de N em épocas antecedentes a maior demanda pelas plantas e quando estas já apresentam desenvolvimento do sistema radicular suficiente para absorver o nutriente aplicado ao solo, tem sido recomendado em busca de reduzir perdas por lixiviação (Raij et al., 1996). A incorporação da ureia ao solo tem sido uma prática de manejo usada como alternativa para minimizar as perdas por volatilização da NH_3 e aumentar a retenção de amônio no solo (Lara Cabezas et al., 2000 e Sangoi et al., 2003).

Em condições onde o manejo do nitrogênio é dificultado em função de fatores como disponibilidade de maquinário, condições climáticas adversas, tempo, custo ou dificuldade de incorporação do fertilizante ao solo, etc; podem ser consideradas as características dos fertilizantes utilizados como opção para aumentar a eficiência de uso do nitrogênio pelas culturas (Cantarella et al., 2008).

3 CAPITULO I

AVALIAÇÃO DE FONTES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EM FORNECER NITROGÊNIO PARA A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum*)

3.1 RESUMO

A presença do “mulch” (palhada) em áreas de cultivo com cana-de-açúcar pode implicar em mudanças no manejo da adubação nitrogenada, como a utilização de fontes de N que apresentem menores perdas por volatilização de amônia, além da busca por implementos que permitam a aplicação incorporada de fertilizante nitrogenados ao solo. Com o objetivo de avaliar a eficiência de fontes de fertilizantes nitrogenados em fornecer nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar, foi realizado um experimento em casa de vegetação, com condições controladas de temperatura e umidade, localizada na área experimental do Departamento de Solos da UFRRJ. Foi utilizado um solo de textura arenosa, proveniente do horizonte A de um Planossolo Háptico. O solo foi incubado para elevar o pH para 6,5. O experimento foi instalado de forma inteiramente casualizada, em esquema fatorial 11 x 2 x 3 onde os fatores avaliados foram: cinco fertilizantes pastilhados, cinco fertilizantes comerciais, um fertilizante de ureia pura pastilhada, duas doses de N utilizadas, três repetições e uma testemunha absoluta (sem N) com três repetições, resultando assim em 69 unidades experimentais. Os fertilizantes foram aplicados (incorporados) no momento do plantio das mudas micropropagadas de cana-de-açúcar da variedade RB 86 7515, e as doses utilizadas foram referentes à aplicação de 100 e 200 kg N ha⁻¹ respectivamente para cada um dos fertilizantes nitrogenados. Foram aplicados também no momento do plantio uma dose referente a 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato triplo (46% P₂O₅) e 40 kg K₂O ha⁻¹ na forma de cloreto de potássio. Para avaliar a disponibilidade de nitrogênio adicionado ao solo em cada tratamento, foram utilizadas duas plantas por vaso em ensaio de curto período de tempo e pequeno volume de solo. O experimento teve duração de 60 dias, e ao final deste período foram avaliados os parâmetros fenológicos (altura da planta, massa seca de parte aérea e massa seca de raiz), o acúmulo de nitrogênio na massa seca de parte aérea, acúmulo de nitrogênio na massa seca de raízes e o teor de nitrogênio total no solo bem como as formas de N presente (NH₄⁺ e NO₃⁻). O pastilhamento de ureia com sulfato de amônio e enxofre elementar com bentonita (ureia-SHoB) e somente com enxofre elementar na presença de bentonita (ureia-SoB), como também a associação somente de bentonita na ureia pastilhada (ureia-B), apresentaram resultados positivos quando aplicado a maior dose (200 kg N ha⁻¹) em relação aos parâmetros avaliados (N total no solo, N acumulado na massa seca de parte aérea e N acumulado na raiz). Os fertilizantes pastilhados contendo enxofre elementar na presença e na ausência de bentonita (ureia-SoB e ureia-So) ou quando associados com duas fontes de N (ureia + sulfato de amônio) e duas fontes de enxofre (sulfato e enxofre elementar) na presença de bentonita apresentaram maiores teores de NH₄⁺ no solo em relação a maioria dos fertilizantes comerciais quando foi aplicada a menor dose de N e semelhantes aos produtos comerciais quanto aos teores de NO₃⁻ no solo para ambas as doses utilizadas.

Palavras-chave: Fertilizante pastilhado. Enxofre. Nitrogênio. Cana-de-açúcar.

3.2 ABSTRACT

The presence of “mulch” (straw) in areas of cultivation with sugar cane imply in changes in the management of nitrogen fertilization, such as the use of N sources which result in lowest losses of ammonia by volatilization, in addition to the search for implements to allow the incorporated application of nitrogen fertilizers to the soil. With the objective of evaluating the efficiency of sources of nitrogen fertilizers in supplying nitrogen to the sugar cane crop, a experiment was conducted in a greenhouse under controlled temperature and humidity, located in the experimental area of the Soils Department of the UFRRJ. Sandy textured material from the A horizon of a Fragiudult soil was utilized. The soil was incubated to raise pH to 6.5. The experiment was set up in a completely randomized manner in a factorial scheme 11 x 2 x 3 where the factors evaluated were: five pelletized fertilizers, five commercial fertilizers, one pure urea pelletized fertilizer, two doses of N utilized, three replications and one absolute control (without N) with three replications, resulting into 69 experimental units. The fertilizers were applied (incorporated) in the planting of the micropropagated sugar cane seedlings, variety RB 86 7515, and the doses were equivalent to the application of 100 and 200 kg N ha⁻¹ respectively for each of the nitrogen fertilizers. One dose equivalent to 80 kg P₂O₅ ha⁻¹, in the form of triple superphosphate (46% P₂O₅), and 40 kg K₂O ha⁻¹, as potassium chloride, was also applied at the planting. To evaluate the nitrogen availability added into soil in each treatment, there were utilized two plants per pot in an assay of short period and small volume of soil. The experiment lasted 60 days and at the end of this period, the phenological parameters (plant height, shoot dry mass and root dry mass), N accumulation in the shoot dry mass, N accumulation in the root mass and total soil N content as well as the forms of N present (NH₄⁺ and NO₃⁻) were evaluated. Urea pelletizing with ammonium sulfate and elementary sulfur with bentonite (urea-SHoB) and only with elementary sulfur in the presence of bentonite (urea-SoB) and also the association only of bentonite in the pelletized urea (urea-B) presented positive results when the highest dose (200 kg N ha⁻¹) in relation to the evaluated parameters (total soil N, shoot dry matter-accumulated N and root-accumulated N) was applied. The pelletized fertilizers containing elementary sulfur both in the presence and in the absence of bentonite (urea-SoB and urea-So) or when associated with two sources of N (urea + ammonium sulfate) and two sources of sulfur (sulfate and elementary sulfur) in the presence of bentonite presented higher doses of NH₄⁺ in soil in relation to most of the commercial fertilizers when the lowest dose of N was applied and similar to the commercial products as to the contents of NO₃⁻ in soil for both the doses utilized.

Key words: Pelletized fertilizer. Sulfur. Nitrogen. Sugar cane.

3.3 INTRODUÇÃO

A ureia é considerada um dos fertilizantes nitrogenados mais importantes, uma vez que apresenta um baixo custo relativo, alta solubilidade em água e a boa assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas. Em contra partida este produto pode apresentar elevadas perdas de N comprometendo assim sua eficiência. Sendo que com a hidrólise da ureia a volatilização da amônia é o principal tipo de perda apresentada por este produto.

Uma vez que o N é um elemento dinâmico, este pode ter sua dinâmica alterada em função das condições climáticas, práticas de cultivo e principalmente pelas características que o solo apresenta. O solo pode apresentar vários fatores que irão afetar a eficiência da adubação nitrogenada, tais como textura, pH, umidade, poder tampão, teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, potencial redox, mineralogia da fração argila, e diretamente influenciar nas perdas gasosas de nitrogênio. Segundo Muurinem et al. (2006) a eficiência agrônômica da adubação nitrogenada é dependente de condições de clima e de solo, assim como também das características das plantas em absorver e utilizar eficientemente o nutriente. Outros fatores também podem afetar a eficiência da adubação nitrogenada no cultivo de plantas como o método e época de aplicação e o tipo de fertilizante utilizado (Wanser & Mundstock, 2007).

Como mecanismo estratégico para reduzir perdas e aumentar a eficiência de uso do nitrogênio, tem sido desenvolvido tecnologias, como o uso de fertilizantes nitrogenados que possuem produtos que inibem a ação da uréase, mistura de ureia com outros fertilizantes nitrogenados ou ureia misturada ou recoberta com enxofre elementar. A mistura de ureia com sulfato de amônio ou nitrato de amônio promove a redução de perdas de NH_3 por volatilização (Vitti et al., 2005).

Produtos diferenciados com misturas de diferentes fontes de N e S têm sido produzidos por empresas de fertilizantes em busca de reduzir perdas por volatilização e aumentar o fornecimento desses nutrientes (Vitti e Heirinchs, 2007).

Na cultura da cana-de-açúcar a adubação nitrogenada tem uma influência direta na produtividade e longevidade das soqueiras, uma vez que o nitrogênio é um nutriente limitante para esta cultura. De acordo com Urquiaga et al.(2003) a fertilização nitrogenada é necessária as soqueiras, variando muito de acordo com o tipo de solo e manejo adotado. No entanto, a eficiência da adubação nitrogenada pode diminuir muito quando a ureia é aplicada em superfície sobre palhada, em função das perdas de amônia por volatilização de N amídico amoniacal não incorporado ao solo, podendo também ocorrer perdas pela imobilização microbiana do N aplicado ao solo ocasionada pela alta relação C:N (Vitti, 1998).

Desta forma o objetivo desse capítulo foi avaliar a eficiência de diferentes fertilizantes pastilhados NS e fertilizantes nitrogenados comerciais em fornecer N para a cultura da cana-de-açúcar, analisando os parâmetros fenológicos, teor de N na parte aérea da planta, na raiz e no solo, bem como as formas de N no solo, em função dos teores de N e S contidos nos fertilizantes e das fontes de enxofre utilizadas.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação climatizada (Figura 1) localizada no departamento de solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, localizada a 30 metros acima do nível do mar e nas coordenadas 22°45' de latitude Sul e 43°41' de longitude Oeste.



Figura 1: Casa de vegetação climatizada onde foram instalados os experimentos.

3.4.2 Solo utilizado

O solo utilizado como substrato para crescimento das mudas de cana-de-açúcar corresponde ao horizonte A (20 primeiros centímetros) de um Planossolo Háplico (Textura arenosa), coletado próximo ao setor de bovinocultura de leite, antiga rodovia RJ-SP, KM 47 UFRRJ.

Depois de coletado o solo foi peneirado em malha de 4 mm e realizado análises químicas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos/UFRRJ de acordo com os procedimentos do Manual de Métodos de Análises de Solos (EMBRAPA/CNPS 1997), e feito também análise granulométrica, e de acordo com o Manual TEDESCO (1995) para determinação de nitrogênio (N) e enxofre (S) no solo, cujos resultados são apresentados nas Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1: Resultados da análise química do Planossolo Háplico utilizado, onde m-saturação por Al; n-saturação por Na.

Solo	Na	Ca	Mg	H + Al	Al	Sb	T	V	m	n	N	pH	Corg	P	K	S
				—————cmol _c /dm ³ —————					——%——		g/kg	1:2,5	%	--	mg/dm ³	--
Planossolo	0,03	1,0	0,7	1,98	0,1	1,95	3,93	49,6	4,87	0	0,20	5,54	1,12	13,3	88,5	9

Sb = Soma de bases trocáveis; N = Nitrogênio total no solo; S = Enxofre no solo

Tabela 2: Análise granulométrica do Planossolo do Planossolo Háptico.

Solo	Argila Natural	Argila Total	Areia Total	Areia Fina	Silte
	g kg ⁻¹				
Planossolo	30	70	920	210	10

3.4.3 Caracterização dos fertilizantes pastilhados

Os fertilizantes pastilhados foram desenvolvidos pelo Cenpes/Petrobras e foram resultantes de uma linha de pesquisa que consistiu em produzir pastilhados de uréia com duas diferentes fontes de enxofre (S). Particularmente, como fontes de enxofre foram utilizadas fertilizantes comerciais, a saber - Sulfato de Amônio e Enxofre elementar (E0)- sendo considerado nestes fertilizantes um teor mínimo de 24,0% e 95% de S respectivamente. Foi utilizado bentonita (composto de argila) nos produtos em proporção de 10,0% do enxofre elementar adicionado ao fertilizante, este aditivo tem como propriedade melhorar a mistura de fertilizantes como também a granulação e/ou pastilhamento. Como fonte de N foi utilizada a uréia comercial com teor mínimo de 45,0% de N.

A caracterização química dos fertilizantes pastilhados e comerciais, quanto aos teores de N e S, e a proporção de cada mistura utilizada nos fertilizantes pastilhados contendo Uréia e Enxofre utilizados no experimento, encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização química dos Fertilizantes Pastilhados NS e dos fertilizantes comerciais utilizados como testemunha e descrição das matérias primas e as suas concentrações de N, S e Bentonita.

Produto	Composição	Forma(s) N	Forma(s) S	N (%)	S (%)	B (%)	Forma(s) do Produto
Ureia	U* ¹	NH ₂		45,0	0,00	0,00	Granulada
Super N	U/NBPT* ²	NH ₂		45,0	0,00	0,00	Granulado
Sulfato de Amônio	SA* ³	NH ₄	SO ₄	21,0	24,0	0,00	Farelado
FH NitroGold	U+E* ⁴	NH ₂	S ₀	43,4	7,9	0,00	Granulado revestido
N-UreiaS ₀ ® Yara	U+E	NH ₂		42,00	9,2	0,00	Pastilhada
Ureia	U	NH ₂		45	0,00	0,00	Pastilhada
Ureia-SH	U+SA	NH ₂	SO ₄	37,8	7,2	0,00	Pastilhada
Ureia-So	U+E	NH ₂	S ₀	41,6	7,2	0,00	Pastilhada
Ureia-SH ₀ B	U+SA+E+B* ⁵	NH ₂ ,NH ₄	SO ₄ , S ₀	39,51	7,2	0,38	Pastilhada
UreiaSoB	U+E+B	NH ₂	S ₀	41,25	7,2	0,76	Pastilhada
Ureia-B	U+B	NH ₂		45,65	0,00	0,76	Pastilhada

*¹U: ureia

*²NBPT: tiofosfato de N-n-butiltriamida (Inibidor da enzima urease).

*³SA: sulfato de amônio.

*⁴E: enxofre elementar.

*⁵B: benonita.

Ureia-SH: ureia + sulfato de amônio

Ureia-So: ureia + enxofre elementar

Ureia-SH₀B: ureia + sulfato de amônio + enxofre elementar + bentonita

Ureia-S₀B: ureia + enxofre elementar + bentonita

Ureia-B: ureia + bentonita

Super N: ureia + NBPT

N-UreiaS₀® Yara: ureia pastilhada com enxofre elementar

FH NitroGold: ureia perolada revestida com enxofre elementar

3.4.4 Variedade de cana-de-açúcar utilizada

Foram utilizadas para condução do experimento, mudas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) micro propagadas da variedade RB 86 7515. Esta é uma variedade obtida pela equipe do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar da Universidade Federal de Viçosa – PMGCA/UFV, da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro – RIDESA (acessado em 23/04/2012) e que apresenta como característica botânica rápida velocidade de crescimento, porte alto, hábito de crescimento ereto e boa estabilidade, ampla adaptabilidade. Esta variedade não é recomendada para solos argilosos de boa fertilidade devido apresentar problemas fitossanitários com estrias vermelhas.

As mudas de cana (micro propagadas) foram cedidas pela Estação Experimental do Campus Dr. Leonel Miranda - UFRRJ, situada em Campos dos Goytacazes-Rj.

3.4.5 Procedimentos adotados na montagem do experimento

3.4.5.1 Incubação do solo

Foi realizado uma calagem no solo para a elevação do pH a 6,5, adotando-se as doses e o período de incubação previamente determinados para este solo (Stafanato, 2009), uma vez que o pH do solo exerce grande influência sobre o processo de volatilização da NH_3 .

Foi utilizado Calcário Agrícola Dolomítico para que a correção do pH atingisse valores próximo a 6,5, considerado o ideal para o desenvolvimento da maioria das culturas, e feita à correção da quantidade recomendada em função do PRNT do calcário utilizado.

Baseando-se no PRNT do calcário usado no experimento foi possível obter a real recomendação de $1,88 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico 72% PRNT 20 cm^{-1} para o solo utilizado.

O processo final de correção do solo utilizado consistiu em misturar o calcário ao solo com a utilização de uma betoneira para facilitar o processo de homogeneização. Após ter sido homogeneizado com calcário, o solo foi acondicionado em sacos plásticos de 50 kg, e posteriormente adicionou-se água para que este atingisse e se mantivesse em 70% da capacidade de campo, possibilitando ocorrer às reações químicas necessárias para que o pH pudesse atingir 6,5.

3.4.5.2 Implantação do experimento

O experimento foi implantado em vasos plásticos com área de $0,033 \text{ m}^2$ onde foram adicionados 5 kg de material de solo (textura arenosa) previamente peneirado em malha 4 mm. O solo teve a umidade mantida em 70% da capacidade de campo, durante o experimento, com aplicação de uma lâmina de água diariamente, determinada através da pesagem dos vasos, onde a diferença de peso apresentada com relação ao peso do vaso inicialmente saturado a 70% correspondia à quantidade de água a ser adicionada, sendo esta aplicada com o uso de proveta graduada.

Os fertilizantes nitrogenados foram aplicados no plantio, para cada tratamento, sendo incorporado abaixo da camada superficial dos primeiros cinco centímetros de solo do vaso. Primeiramente a camada superficial (5 cm) foi retirada e acondicionada em outro vaso, e em seguida o restante de solo do vaso foi colocado em um balde maior para que pudesse receber o fertilizante e ser homogeneizado posteriormente. O solo após ter sido homogeneizado ao fertilizante retornou ao vaso, assim como também o solo retirado dos primeiros 5 centímetros que retornou para a parte superficial do vaso, para que então fosse realizado o plantio das mudas de cana. Foram aplicados (incorporados) também no momento do plantio 80 kg P_2O_5 na forma de superfosfato triplo (46% P_2O_5) e 40 kg K_2O na forma de cloreto de potássio recomendados de acordo com o Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro (De-Polli et al, 1988).

Para cada vaso foram plantadas duas mudas micro propagadas da variedade de cana RB 86715, e esses vasos foram dispostos de forma inteiramente casualizada dentro da casa de vegetação, mantidos por um período de 60 dias. Com a finalidade de avaliar a disponibilidade de nitrogênio adicionado ao solo em cada tratamento, foram utilizadas duas plantas por vaso em ensaio de curto período de tempo e pequeno volume de solo. Este foi o mesmo objetivo de ensaio proposto por Neubauer & Schneider (1923), onde usando uma alta relação planta/solo é possível obter rápida exploração do volume de solo pelas raízes e absorção de nutrientes disponíveis em um curto período de crescimento, possibilitando identificar mudanças nas concentrações de elementos.

3.4.5.3 Condução do experimento

O experimento foi conduzido no período compreendido entre os dias 28/04/2011 a 27/06/2011 resultando em 60 dias de cultivo para variedade de cana RB 867515.

A finalidade desse experimento foi avaliar cinco fertilizantes pastilhados NS em comparação a cinco fertilizantes comerciais e uma testemunha para avaliar o efeito do tamanho da pastilha (ureia pastilhada). Sendo os pastilhados preparados a partir das respectivas matérias primas: ureia fertilizante (45% N), sulfato de amônio (21% N e 24% S), enxofre elementar (95% S) e bentonita (composto de argila expansiva). Esses fertilizantes pastilhados foram comparados aos fertilizantes comerciais em um solo de textura arenosa avaliando-se o desenvolvimento de mudas de cana, onde os fertilizantes comerciais serviram como testemunha para fins de comparação com os pastilhados.

O delineamento experimental utilizado para este experimento foi o inteiramente casualizado com esquema fatorial 11 x 2 x 3, onde os fatores estudados foram cinco fertilizantes pastilhados, cinco fertilizantes comerciais, um fertilizante de ureia pura pastilhada, duas doses de N utilizadas, três repetições e uma testemunha absoluta (sem N) com três repetições, resultando assim em 69 unidades experimentais.

Os fertilizantes foram aplicados no momento do plantio das muda de cana da variedade RB 86 7515, e as doses utilizadas foram referentes à aplicação de 100 e 200 kg N ha⁻¹ respectivamente para cada um dos fertilizantes. Essas doses foram aplicadas todas em plantio com a finalidade de testar a eficiência dos fertilizantes em fornecer de N para as plantas, quando aplicados em grandes quantidades.

3.4.5.4 Análises químicas e de parâmetros fenológicos na cultura da cana-de-açúcar

As plantas de cana-de-açúcar Variedade RB 86 7515 foram cultivadas por um período de 60 dias, mantendo-se a umidade do solo a 70% da sua capacidade de campo, e coletadas ao final deste período com realização das seguintes análises:

- Parâmetros fenológicos: altura da planta, massa seca total de parte aérea e massa seca total de raízes.
- Teor e conteúdo de N total: no solo, na parte aérea e na raiz, respectivamente.
- Teores de N mineral no solo: N-NH_4^+ e $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$

A determinação da altura da planta (cm) foi feita com o auxílio de uma fita métrica através da medida da base até a ponta da última folha completamente desenvolvida totalmente esticada. Posterior a este procedimento as plantas tiveram sua parte aérea (folha+colmo) coletadas e foram levadas para estufa de circulação forçada de ar a 65° C, onde foram secadas até atingirem peso constante, sendo a massa seca (g) determinada em balança de duas casas decimais. Após secadas e pesadas, a parte aérea das plantas foram trituradas em moinho tipo Willey e determinados os teores de N total de acordo com TEDESCO (1995).

Após coletada a parte aérea das plantas, o vaso contendo o solo onde as plantas se desenvolveram foi dividido em duas partes iguais. Uma das partes foi destinada para as análises de N mineral (NH_4^+ e $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) e N total de acordo com TEDESCO (1995). Esta parte do solo foi homogeneizada e posteriormente retirado um volume de solo conhecido, contendo a umidade do momento de coleta, para analisar os teores de N mineral e o restante do solo foi seco e destorroado para determinação dos teores de N total (TEDESCO, 1995). A outra metade do solo do vaso foi lavada para que se pudesse coletar as raízes da planta, com auxílio de peneira de 2 mm, pelo processo de flotação-decantação.

As raízes coletadas em uma das metades do vaso foram secadas em estufa de circulação forçada a 65° C até atingirem peso constante e posteriormente pesadas para

determinação de massa seca em balança de duas casas decimais. Após secadas e pesadas às raízes foram moídas em moinho tipo Willey para determinação dos teores de N total nas mesmas (TEDESCO,1995).

O valor encontrado para massa seca de raiz foi multiplicado por dois para representar a massa seca total em cada tratamento, pois cada vaso possuía duas plantas, mas foi coletado o sistema radicular referente a apenas uma planta.

3.4.5.5 Análises estatísticas

A análise dos dados foi feita utilizando-se o programa SAEG@. Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificar as pressuposições de normalidade e homogeneidade dos erros respectivamente. E realizado o teste F para análise de variância, e o teste de Scott Knott a 5% de probabilidade para teste de médias.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Parâmetros fenológicos

Na Tabela 4 são apresentadas as características fenológicas para a Variedade de cana-de-açúcar RB 86 7515 após 60 dias de cultivo, em função da utilização das doses referentes a 100 e 200 kg N ha⁻¹ aplicadas através de fertilizantes pastilhados NS e fertilizantes nitrogenados comerciais.

Tabela 4: Parâmetros fenológicos analisados para cana-de-açúcar Variedade RB 867515 após 60 dias do plantio com a aplicação das doses referentes a 100 e 200 kg N ha⁻¹ de diferentes fertilizantes nitrogenados.

Tratamentos	Altura da planta (cm)		Massa Seca Parte Aérea (g/vaso)		Massa Seca Raiz (g/vaso)	
	Dose 100 kg/ha	Dose 200 kg/ha	Dose 100 kg/ha	Dose 200 kg/ha	Dose 100 Kg/ha	Dose 200 kg/ha
Testemunha Abs.	139,4 Aa	139,4 Aa	26,89 Ca	26,89 Aa	13,71 Aa	13,71 Aa
Ureia Granulada	144,5 Aa	115,4 Eb	28,14 Ca	21,02 Bb	14,09 Aa	6,16 Eb
Super N	139,7 Aa	125,5 Cb	27,62 Ca	21,83 Bb	10,96 Ba	7,45 Db
Sulfato Amônio	139,1 Aa	119,4 Db	41,54 Aa	28,47 Ab	7,80 Ca	8,72 Ca
FH Nitro Gold	147,0 Aa	120,0 Db	36,65 Ba	28,89 Ab	13,52 Aa	4,89 Fb
Ureia-So Yara	129,9 Ba	127,5 Ca	31,43 Ca	28,13 Aa	14,72 Aa	9,35 Cb
Ureia Pastilhada	122,3 Cb	142,8 Aa	29,92 Ca	23,51 Bb	15,31 Aa	4,69 Fb
Ureia-SH	126,5 Cb	140,7 Aa	29,44 Ca	23,00 Bb	11,35 Ba	6,72 Eb
Ureia-So	132,6 Ba	128,5 Ca	28,94 Ca	17,22 Cb	9,28 Ba	7,68 Da
Ureia-SHoB	132,8 Ba	113,8 Eb	28,66 Ca	24,18 Bb	12,96 Aa	11,24 Bb
Ureia-SoB	121,6 Ca	126,6 Ca	28,40 Ca	23,90 Bb	7,23 Cb	11,82 Ba
Ureia-B	136,1 Aa	132,9 Ba	29,61 Ca	25,59 Aa	9,54 Ba	8,08 Da
CV (%)	3,96		10,13		12,28	

Médias seguidas da mesma letra *maiúscula na vertical e minúsculas na horizontal*, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Scott knott.

Analisando os resultados para a variável altura da planta (cm), na cultura da cana-de-açúcar após 60 dias de cultivo, quando aplicado dose equivalente a 100 kg N ha⁻¹, observa-se que dentre os tratamentos referentes aos fertilizantes pastilhados a ureia-B (ureia + bentonita) apresentou resultado superior (maior altura de plantas) aos demais tratamentos, mostrando-se semelhante ao tratamento testemunha absoluta (sem aplicação de N), e aos tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais ureia granulada, super N, FH Nitro Gold e sulfato de amônio. Uma grande quantidade de estudos realizados há tempos em diversas regiões do Brasil já mostravam que a cana-planta responde menos e com menor frequência a adubação nitrogenada em comparação a cana-soca (Albuquerque e Marinho, 1983; Zambelo e Azeredo, 1983; Cantarella e Raij, 1985). Em 81 ensaios feitos com cana planta no estado de São Paulo, menos de 40% mostraram resposta à adubação nitrogenada (Cantarella e Raij, 1985). Os tratamentos referentes aos fertilizantes pastilhados Ureia-So (ureia + enxofre elementar) e Ureia-SHoB (ureia + sulfato de amônio, enxofre elementar na presença de bentonita) não diferiram entre si, e mostraram-se estatisticamente semelhantes ao

tratamento que recebeu o fertilizante comercial ureia-So Yara (ureia na forma de pastilha com enxofre elementar). Entretanto estes tratamentos apresentaram-se superiores aos tratamentos contendo os pastilhados ureia-SH, ureia-SoB e ureia pastilhada (efeito tamanho pastilha). Com relação aos fertilizantes comerciais a ureia-So Yara apresentou o menor valor para a variável altura de plantas, sendo estatisticamente inferior aos demais fertilizantes comerciais, mas ainda assim, superior aos pastilhados ureia-SH e ureia-SoB. Entretanto, não foram encontrados na literatura trabalhos relacionando altura de plantas de cana-de-açúcar (cana-planta) em função da fonte de nitrogênio utilizada.

Observando o parâmetro fenológico altura de plantas (cm) para cana-de-açúcar 60 dias após o plantio, quando realizada adubação referente à dose de 200 kg N ha^{-1} (Tabela 4), é possível observar que os melhores resultados foram apresentados pelos tratamentos referentes ao fertilizante pastilhado ureia-SH (ureia + sulfato de amônio) e a ureia pastilhada (efeito de tamanho da pastilha), que se mostraram semelhantes e não diferiram da testemunha absoluta (sem N), sendo os resultados apresentados por estes tratamentos, estatisticamente superiores aos demais tratamentos. Com relação aos fertilizantes comerciais utilizados, para esta mesma dose de N aplicada (200 kg ha^{-1}), a ureia-So Yara, que contém a maior concentração de enxofre elementar em sua composição (9,2% S) dentre os fertilizantes comerciais, e o Super N que possui produto inibidor de urease, não diferiram entre si e foram superiores aos demais fertilizantes comerciais. Contudo para esses dois tratamentos (ureia-So Yara e Super N), a altura das plantas foi inferior ao valor encontrado para a testemunha absoluta (sem aplicação de N) e para a uréia pura pastilhada. Dessa forma, verifica-se que o efeito tamanho da pastilha, representado pela ureia pastilhada, possivelmente pode ter influenciado de forma positiva no crescimento da planta. Uma vez que a taxa de liberação do N do fertilizante para a cultura pode estar relacionada à forma que o fertilizante aplicado apresenta (pastilha).

Considerando ainda a mesma variável (altura da planta), ao comparar as duas doses de nitrogênio aplicadas na cultura da cana-de-açúcar (100 e 200 kg ha^{-1}), observa-se que entre os tratamentos contendo fertilizantes pastilhados, ureia-SH (ureia + sulfato de amônio) e ureia-SHoB (ureia, sulfato de amônio, enxofre elementar e bentonita) apresentaram diferenças estatísticas entre as doses aplicadas. Onde o tratamento correspondente à ureia-SHoB apresentou resultado inferior para a altura das plantas quando se aplicou dose referente a 200 kg N ha^{-1} , e o tratamento que recebeu a ureia-SH também se apresentou inferior com a aplicação de N referente a dose 100 kg ha^{-1} . O tratamento contendo ureia pastilhada conferiu maior altura das plantas quando aplicados 200 kg N ha^{-1} . Entre os tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais, os tratamentos correspondentes a uréia granulada, Super N, sulfato de amônio e FH Nitro Gold apresentaram resultados superiores para altura de plantas quando aplicados dose referente a 100 kg N ha^{-1} . Dentre os tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais, somente o tratamento contendo uréia-So Yara não apresentou diferença entre as doses de N aplicadas. Este resultado apresentado pela uréia-So Yara pode estar associado ao fato desta maior dose de N aplicada (200 kg ha^{-1}), conferir uma maior adição de enxofre elementar ao solo ($43,8 \text{ kg ha}^{-1}$) entre os fertilizantes comerciais. Sendo que possivelmente a maior concentração de enxofre elementar conferida ao solo pode ter resultado em uma taxa de liberação de N mais lenta, uma vez que a oxidação de enxofre elementar é um processo que acidifica o solo (Cantarella e Montezano, 2010), promovendo uma maior disponibilidade de N para a cultura durante o período de cultivo, resultando possivelmente em maior desenvolvimento das plantas. Bologna Campbell (2007) trabalhando com balanço de enxofre e nitrogênio na cana, não encontrou efeito do S no desenvolvimento da cana-de-açúcar em relação à aplicação de N em nenhuma das variáveis analisadas em seu experimento. Segundo o autor, em condições de limitação de nutrição nitrogenada da cana planta, a fertilização com S associada com a de N não resultou efeito sinérgico na produtividade da cultura.

Observa-se que quando comparados os resultados para a variável altura de plantas, nas duas doses de N aplicadas (100 e 200 kg ha⁻¹), a testemunha absoluta (sem N) apresentou resultado superior e em alguns casos semelhante aos resultados apresentados pelos tratamentos que receberam aplicação de fertilizantes nitrogenados. Sampaio et al. (1985) e Araújo et al. (2001) mostraram que apenas a mineralização de N em solos cultivados com cana-de-açúcar foi suficiente em atender a demanda desse nutriente em cana-planta.

Comparando os valores encontrados para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) após aplicação de 100 kg N ha⁻¹, é possível observar que os tratamentos correspondentes aos fertilizantes comerciais sulfato de amônio e FH Nitro Gold apresentaram os maiores acúmulos de massa seca entre todos os tratamentos, tendo o sulfato de amônio diferido do FH Nitro Gold mostrando-se superior. Os tratamentos contendo os diferentes fertilizantes pastilhados não apresentaram diferenças estatísticas entre si, e mostraram-se semelhantes aos fertilizantes comerciais ureia granulada, super N e ureia-So Yara, sendo estes tratamentos semelhantes também a testemunha absoluta (sem N) para o acúmulo de massa seca da parte aérea. De acordo com esses resultados é possível observar que para a maioria dos tratamentos ocorreu uma baixa resposta das plantas de cana a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, uma vez não diferiram da testemunha absoluta (sem N). Esses resultados estão de acordo com os resultados encontrados por Cantarella e Raij (1985), onde encontraram resposta da cana-planta adubação com N em menos de 40% dos ensaios realizados no estado de São Paulo.

Quando comparados os valores de massa seca de parte aérea após aplicação de dose referente à 200 kg N ha⁻¹ para os tratamentos utilizados, as melhores resultados foram apresentados pelos tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais sulfato de amônio (24% S), FH Nitro Gold (7,9% S) e uréia-So Yara (9,2% S), sendo estes fertilizantes, os que apresentam enxofre em sua composição dentre os fertilizantes comerciais. Esses tratamentos foram também semelhantes à testemunha absoluta (sem N) e ao tratamento que recebeu o pastilhado de ureia com bentonita (ureia-B), que apresentou o maior acúmulo de massa seca de parte aérea entre os pastilhados. Esses produtos (sulfato de amônio, FH Nitro Gold, ureia-So Yara e ureia-B), apresentaram os melhores resultados para o acúmulo de massa seca de parte aérea com a maior dose de N aplicada (200 kg ha⁻¹), porém não diferiram da testemunha absoluta (sem aplicação de N). Uma vez que a testemunha absoluta (sem N) apresentou resultado semelhante aos tratamentos onde ocorreu a adição de fertilizantes, esse resultado pode ter ocorrido em função da reserva de nutrientes oriunda da própria muda (Bologna Campbell, 2007), e/ou pela mineralização do N proveniente do solo conforme observado por Sampaio et al. (1985) e Araújo et al. (2001). Entretanto, Orlando Filho et al. (1999) obtiveram resposta linear às doses de N, em cana-planta, independente das fontes e modo de aplicação.

Os fertilizantes pastilhados ureia-SH, ureia-SHoB e ureia-SoB mostraram resultados semelhantes aos encontrados para os fertilizantes comerciais ureia granulada e Super N, sendo estes estatisticamente semelhantes à ureia pastilhada (efeito do tamanho da pastilha). No entanto, entre os fertilizantes pastilhados a ureia-So apresentou o menor acúmulo de massa seca de parte aérea, diferindo estatisticamente de todos os outros tratamentos. Esse resultado apresentado pelo pastilhado ureia-So, provavelmente pode ter ocorrido em função da fonte de enxofre presente neste pastilhado ser exclusivamente o enxofre elementar, pois o enxofre na forma elementar não se encontra prontamente disponível para as plantas, necessitando primeiramente ser oxidado pela ação de microrganismos do solo a sulfato para então assim ser absorvido (Cantarella et al., 2007), sendo que a lenta taxa de oxidação do enxofre confere menor efeito de acidificação na região de aplicação do fertilizante, ficando o fertilizante passível de uma liberação mais rápida do N o que associado a textura arenosa do solo, pode resultar em menor aproveitamento pela planta refletindo em menor desenvolvimento.

Ainda considerando os resultados de massa seca na parte aérea para as duas doses de N aplicadas (100 e 200 kg N ha⁻¹) podemos observar que na maioria dos tratamentos os melhores resultados foram obtidos quando se aplicou a dose de 100 kg N ha⁻¹, sendo que somente com a aplicação do fertilizante ureia-So Yara dentre os produtos comerciais, e a ureia-B dentre os pastilhados, as doses aplicadas não diferiram para o acúmulo de massa seca de parte aérea.

Avaliando os resultados apresentados pelos tratamentos, para a variável massa seca de raiz, quando se aplicou dose equivalente 100 kg N ha⁻¹, observa-se que o tratamento contendo ureia-SHoB (ureia pastilhada com sulfato de amônio, enxofre elementar e bentonita) apresentou o melhor resultado entre os fertilizantes pastilhados. Sendo o resultado apresentado por este produto estatisticamente semelhante ao encontrado para a ureia pura pastilhada e para os fertilizantes comerciais ureia granulada, FH Nitro Gold e ureia-So Yara, como também não diferiram da testemunha absoluta (sem N). Estes tratamentos não diferiram entre si e foram estatisticamente superiores aos demais tratamentos. A testemunha absoluta (sem N) apresentou maior desenvolvimento radicular com relação a alguns tratamentos que receberam fertilizantes, isso pode ter ocorrido devido à baixa disponibilidade de N neste tratamento quando comparado aos outros tratamentos, uma vez que neste tratamento a única fonte de N foi o solo. Em caso de pouca disponibilidade de nutriente, a planta como mecanismo para suprir sua demanda nutricional, passa a emitir mais raízes a fim de explorar um maior volume de solo. Pois de acordo com o observado por Souza & Fernandes (2006) inicialmente, em detrimento das reservas da parte aérea, a planta promove um alongamento do sistema radicular, como uma tentativa de buscar o nutriente.

Os tratamentos com os fertilizantes pastilhados ureia-SH, ureia-So e ureia-B apresentaram acúmulo de massa seca de raiz semelhante ao encontrado para o fertilizante comercial Super N, que possui produto com ação de inibir a urease. O menor desenvolvimento de sistema radicular das plantas de cana-de-açúcar foi encontrado para os tratamentos receberam o fertilizante comercial sulfato de amônio e o pastilhado ureia-SoB (ureia pastilhada com enxofre elementar e bentonita) respectivamente.

Considerando essa mesma variável (massa seca de raiz), quando com aplicação da dose referente a 200 kg N ha⁻¹, o melhor resultado foi apresentado pela testemunha absoluta (sem N), sendo significativamente superior aos demais tratamentos. Isso pode estar relacionado com a aplicação da alta dose de fertilizante promovendo efeito de salinização ao solo e conseqüentemente menor desenvolvimento do sistema radicular nos tratamentos que receberam fertilizante, considerando ainda o fato de que no tratamento sem aplicação de N (testemunha absoluta) as plantas apresentaram maior desenvolvimento radicular em função da necessidade de maior exploração do solo em busca de nutrientes (Souza & Fernandes, 2006). Os tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais sulfato de amônio e ureia-So Yara apresentaram acúmulo de massa seca de raiz semelhantes entre si, porém, diferenciaram-se dos demais produtos comerciais. O fertilizante comercial super N que contém inibidor da urease, proporcionou um acúmulo de massa seca de raiz semelhante ao conferido pelos fertilizantes pastilhados ureia-So e ureia-B, enquanto que o fertilizante pastilhado ureia-SH (ureia + sulfato de amônio) proporcionou o menor desenvolvimento de raízes, sendo este resultado semelhante ao obtido no tratamento com a ureia granulada, com a aplicação da dose de 200 kg N ha⁻¹. Os menores valores apresentados para o acúmulo de massa seca de raízes foram obtidos com os tratamentos que receberam respectivamente o fertilizante comercial FH Nitro Gold e a ureia pastilhada.

Ainda para essa mesmo variável (massa seca de raiz), ao comparar as duas doses aplicadas (100 e 200 kg N ha⁻¹), entre os tratamentos contendo os fertilizantes pastilhados, observa-se que para os tratamentos que receberam os pastilhados ureia-SHoB e ureia-SH, como também para a ureia pastilhada, os melhores resultados foram obtidos com a aplicação

de 100 kg N ha⁻¹. O pastilhado ureia-SoB mostrou resultado inferior quando aplicado a menor dose de N. Já para os pastilhados ureia-B e ureia-So não houve diferença significativa entre as doses aplicadas. Esses resultados não condizem com os resultados encontrados por Trivelin et al. (2002 b), que observaram que com o aumento da dose N aplicada ocorreu maior desenvolvimento do sistema radicular em plantas de cana-de-açúcar, embora estes autores não tenham encontrado diferença para a recuperação de N em função da dose aplicada.

Para os tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais, os melhores resultados de acúmulo de massa seca de raiz foram observados com aplicação da menor dose de N (100 kg ha⁻¹), com exceção do sulfato de amônio que não diferiu entre as doses aplicadas.

Este resultado apresentado pelo sulfato certamente pode ter sido promovido em função da adição de maior quantidade de enxofre o solo (228,57 kg ha⁻¹), sendo que este se encontra na forma de sulfato, promovendo assim uma maior acidificação na região de aplicação do fertilizante, o que pode resultar em lenta liberação do N do fertilizante, não interferindo no desenvolvimento de raízes quando aplicado em elevadas doses (Cantarella et al., 2007).

3.5.2 Nitrogênio total no solo, parte aérea e na raiz

Comparando os teores de N total no solo após 60 dias de cultivo da cana-de-açúcar, quando aplicados 100 kg N ha⁻¹ através dos diferentes fertilizantes nitrogenados, observa-se (Tabela 5), que o maior teor de N total no solo foi encontrado para o tratamento que recebeu o fertilizante comercial sulfato de amônio, diferindo significativamente entre todos os tratamentos, inclusive dos tratamentos com fertilizantes pastilhados. O tratamento que recebeu o fertilizante comercial FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar) também se apresentou superior em relação aos demais tratamentos, exceto para o sulfato de amônio, quanto analisado os teores de N Total no solo. O maior teor de N total apresentado pelo sulfato de amônio pode estar relacionado à natureza ácida apresentada por esse fertilizante em função da alta concentração de enxofre que apresenta, uma vez que essa característica pode estar favorecendo para que ocorra um maior teor residual do fertilizante aplicado ao solo. Pois de acordo com Strong et, al. (1997) a aplicação de sulfato de amônio leva a uma rápida queda no pH do solo inibindo o processo de nitrificação que pode resultar em perda de N.

Para os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados ureia-SH (ureia + sulfato de amônio) e ureia-So (ureia + enxofre elementar) observa-se que os resultados foram semelhantes aos encontrados para os fertilizantes comerciais ureia granulada, Super N (inibidor da urease) e ureia-So Yara (ureia pastilhada com enxofre elementar), quanto ao teor total de N no solo.

Os menores teores de N total no solo foram conferidos pelos tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados que apresentam em sua composição bentonita (ureia-B, ureia-SoB, ureia-SHoB), associada ou não ao enxofre, estes tratamentos não diferiram entre si e mostram-se ainda semelhantes à ureia pastilhada (efeito tamanho da pastilha) e a testemunha absoluta (sem N). Para os fertilizantes pastilhados apenas os tratamentos que receberam os fertilizantes ureia-SH e ureia-So foram superiores a testemunha, mas ainda assim inferiores aos tratamentos com os produtos comerciais sulfato de amônio e FH Nitro Gold.

Com a aplicação da dose de N referente a 200 kg ha⁻¹ na cultura da cana, o sulfato de amônio também conferiu maior teor de N total no solo mostrando-se significativamente superior a todos os outros tratamentos, tantos para os produtos comerciais como para os pastilhados. Dentre os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados a ureia-B (ureia + bentonita) mostrou-se estatisticamente superior aos demais pastilhados e aos fertilizantes comerciais, exceto ao sulfato de amônio. Este resultado apresentado para a ureia-B pode estar relacionado com presença de bentonita, que corresponde a um composto de

argila com alta capacidade de expansão (20 vezes) quando em contato com a umidade do solo, e que poderia estar promovendo uma lenta liberação do N do fertilizante (Tisdale et al. 1993).

Os tratamentos referentes aos pastilhados ureia-So e ureia-SoB, que são produtos que apresentam enxofre elementar em sua composição, não diferiram dos tratamentos correspondentes aos fertilizantes comerciais FH Nitro Gold e a ureia-So Yara (revestidos e pastilhados com enxofre elementar) e também ao super N que apresenta inibidor de urease. Os tratamentos com os pastilhados de ureia contendo sulfato de amônio (ureia-SH e ureia-SHoB) apresentaram-se semelhantes quanto ao teor de N total no solo. O tratamento que recebeu ureia granulada não diferiu da testemunha absoluta (sem N) e se mostrou estatisticamente inferior a todos os tratamentos, tanto aos que receberam produtos comerciais como aos que receberam os pastilhados, com aplicação da maior dose de N (200 kg ha^{-1}). Esse resultado evidencia a menor eficiência da ureia granulada quando comparada a produtos que apresentam forma ou composição diferente. Sendo que quando realizada a aplicação de altas doses de N, as perdas desse elemento no sistema podem ser potencializadas, uma vez que a dose aplicada pode se encontrar acima da capacidade da cultura em absorver o nutriente (Ferreira et al., 2004). Pois, possivelmente esse fertilizante (ureia granulada) teve uma liberação de N no solo mais rápida do que os demais tratamentos, uma vez que este apresentou menor teor de N total no solo após período de 60 dias, inferior inclusive ao encontrado para a ureia pura pastilhada, que apresenta como única diferença entre esses dois produtos a forma (pastilha).

Comparando o teor de N no solo entre as doses de 100 e 200 kg N ha^{-1} aplicadas, observa-se que somente para o tratamento que recebeu ureia granulada, a maior dose de N aplicada (200 kg ha^{-1}) conferiu menor teor de N residual. Para os demais tratamentos o teor de N total no solo apresentou-se significativamente superior quando aplicado a dose referente a 200 kg N ha^{-1} . Esse maior teor de N total solo, encontrado para os tratamentos quando aplicada a maior quantidade de N (200 kg ha^{-1}), pode estar relacionado com a forma e ou composição diferente destes produtos em comparação a ureia granulada.

A ureia granulada se hidrolisa rapidamente quando aplicada ao solo apresentando uma rápida liberação do N, podendo ocasionar maiores perdas de N para o sistema e assim resultar em menor teor residual no solo, quando comparada aos tratamentos contendo fontes de N que tendem a ser mais eficientes em fornecer este elemento a cultura, uma vez que apresentam características que podem ser capazes de conferir menor taxa de liberação, principalmente quando aplicados em altas doses. Alguns autores (Watson, 1988; Oenema e Velthof, 1993) mostraram através de experimentos que a acidez conferida pelo sulfato de amônio pode resultar em redução das perdas por NH_3 em proporção um pouco acima à sua contribuição com o nitrogênio quando misturado a ureia.

Analisando os resultados para o acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-de-açúcar após 60 dias de cultivo, para os tratamentos que receberam aplicação de 100 kg N ha^{-1} através de diferentes fertilizantes nitrogenados, observa-se que os maiores acúmulos de N ocorreram nos tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais sulfato de amônio e o FH Nitro Gold. Estes diferiram entre si e foram significativamente superiores entre todos os tratamentos pelo teste de Scott Knnot a 5%. Os maiores acúmulos de N apresentados por esses tratamentos está relacionado com os maiores acúmulos de massa seca de parte aérea também conferido por esses tratamentos entre todos os fertilizantes avaliados (conforme apresentado na Tabela 4).

Para os tratamentos que receberam as misturas pastilhadas ureia-So, ureia-SHoB e ureia-B, não houve diferença estatística para o acúmulo de N na parte aérea das plantas conferindo os melhores resultados dentre os pastilhados avaliados. Esses tratamentos também foram semelhantes aos tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais ureia-So Yara

(ureia pastilhada + enxofre elementar) e o super N (ureia granulada + inibidor de uréase). O pastilhado ureia-SH (ureia + sulfato de amônio) não diferiu da ureia granulada quanto ao acúmulo de N na parte aérea. Dentre todos os tratamentos avaliados o menor acúmulo de N na biomassa das plantas de cana-de-açúcar foi observado para os tratamentos ureia-SoB (ureia + enxofre elementar e bentonita) e ureia pastilhada. apresentando O menor acúmulo de N na parte aérea da planta, quando aplicou-se 100 kg N ha^{-1} , foi observado pela testemunha absoluta (sem N), que diferiu de todos os tratamentos que receberam fertilizantes nitrogenados. Enquanto o fertilizante comercial sulfato de amônio apresentou o melhor resultado para N total no solo.

Comparando o acúmulo de N na parte aérea das plantas quando aplicados 200 kg N ha^{-1} , observa-se que entre todos os tratamentos o sulfato de amônio e a ureia-So Yara não diferiram entre si e apresentaram os maiores acúmulos de N na parte aérea da plantas. Estes tratamentos foram superiores aos demais produtos comerciais e a todas as misturas pastilhadas.

Com a aplicação da maior dose de N, esses produtos podem ter apresentado esses resultados em função de possuírem os maiores teores de enxofre, seja na forma de sulfato ou enxofre elementar (sulfato 20% e ureia-So Yara 9,2%), sendo que estes tratamentos também apresentaram um maior acúmulo de massa seca de parte aérea, conforme apresentado na Tabela 4, refletindo assim em uma maior concentração de N acumulado na parte aérea das plantas. Entre as misturas pastilhadas a ureia-SoB (ureia + enxofre elementar e bentonita) apresentou o melhor resultado, diferindo pelo teste de Scott Knnot a 5% das demais misturas pastilhadas, e também dos tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais ureia granulada, super N e FH Nitro Gold, assim como também da ureia pastilhada. Entre os fertilizantes comerciais os tratamentos com super N, e FH Nitro Gold (revestido com enxofre) não diferiram entre si, e se mostraram semelhantes ao pastilhado ureia-SH, mas apresentaram resultado inferior aos demais fertilizantes comerciais para a aplicação da maior dose de N (200 kg ha^{-1}).

O tratamento que recebeu o pastilhado ureia-B (ureia + bentonita) apresentou acúmulo de N na parte aérea semelhante aos tratamentos que receberam ureia na forma granulada e ureia na forma pastilhada. Os fertilizantes comerciais Super N contendo inibidor da urease e FH Nitro Gold não diferiram entre si e foram semelhantes ao pastilhado ureia-SH (ureia + sulfato de amônio), resultando em menor acúmulo de N na parte aérea das plantas entre os fertilizantes comerciais. Entretanto estes diferiram do fertilizante pastilhado ureia-So (ureia + enxofre elementar) que apresentou o menor acúmulo de N na parte aérea da cana-de-açúcar entre todos os tratamentos que receberam os diferentes fertilizantes nitrogenados. Contudo, a testemunha absoluta (sem aplicação de N) apresentou o menor acúmulo de N na parte aérea entre todos os tratamentos, pois este tratamento apresentou o menor acúmulo de massa seca, evidenciando a relação entre massa seca e acúmulo de N .

Comparando os teores de N acumulado na parte aérea das plantas, com a aplicação das doses referentes a 100 e 200 kg N ha^{-1} , observa-se que ocorreu uma grande variação tanto em função da dose aplicada como do tratamento utilizado. Para o sulfato de amônio e a ureia-B não houve diferença significativa entre as doses aplicadas. Para os tratamentos com fertilizante comerciais super N e FH Nitro Gold e os pastilhados ureia-SH e ureia-So, os melhores resultados são observados quando se aplicou a dose de 100 kg N ha^{-1} . Já os tratamentos com fertilizantes pastilhados ureia-SoB, ureia-SHoB e os comerciais ureia granulada e ureia-So Yara, assim também como a ureia pura pastilhada , os resultados foram significativamente melhores quando utilizou-se a dose de 200 kg N ha^{-1} . Orlando Filho et al. (1999) obtiveram resposta linear às doses de N, em cana-planta, independente das fontes e modo de aplicação. Quando cultivada em solos de textura leve a cana-planta pode apresentar

altas resposta a aplicação de N conforme os dados de Orlando Filho e Rodella (1995) e Korndorfer et al. (1997, 2002).

Para os teores de nitrogênio total na raiz, com a aplicação de 100 kg N ha⁻¹, os tratamentos com os fertilizantes FH Nitro Gold, ureia-SHoB e ureia-B não diferiram entre si, apresentando os maiores acúmulos.

O tratamento que recebeu o pastilhado ureia-SH (ureia + sulfato de amônio) não diferiu pelo teste de Scott Knott 5%, dos tratamentos referentes à ureia pura pastilhada e aos fertilizantes comerciais ureia-So Yara e ureia granulada, sendo que os teores de N na raiz das plantas encontrado para estes tratamentos foram estatisticamente superiores aos resultados apresentados nos tratamentos com sulfato de amônio, super N e o pastilhados ureia-So, que não apresentaram diferenças significativas entre si. O menor acúmulo de N no sistema radicular foi conferido pelo tratamento ureia-SoB (ureia + enxofre elementar + bentonita) que não diferiu da testemunha absoluta (sem N), apresentado resultado inferior a todos os outros tratamentos.

Em relação ao acúmulo de N na raiz das plantas de cana-de-açúcar, com aplicação de 200 kg N ha⁻¹, observa-se que este apresenta uma relação direta com o desenvolvimento radicular das plantas em cada tratamento, sendo que os maiores acúmulos de N na raiz são observados para os tratamentos que apresentaram maior acúmulo de massa seca de raiz, conforme apresentado na Tabela 4. No sistema radicular, a maior recuperação de N, provavelmente está relacionada ao desenvolvimento da cultura com o aumento das doses de N, assim como a translocação desse nutriente da parte aérea para a subterrânea (Trivelin e Vitti, 2005). Trivelin et al. (2002 b) não encontraram diferença na recuperação de N com o aumento das doses aplicadas, mas observaram maior desenvolvimento do sistema radicular. Os fertilizantes pastilhados que apresentam bentonita em sua composição conferiram maiores acúmulos de N na raiz, sendo que o pastilhado ureia-SoB apresentou o maior acúmulo de N, uma vez que este fertilizante é composto por uma mistura de enxofre elementar e bentonita. Este resultado pode ter ocorrido devido à possível diminuição da ação da uréase promovida pelo enxofre elementar, e pela bentonita que é um composto de argila com capacidade de expansão de até 20 vezes, favorecendo dessa forma a retenção de íons. Os tratamentos que receberam os pastilhados ureia-B e ureia-SHoB não apresentaram diferença estatística entre si e não diferiram dos fertilizantes comerciais sulfato de amônio e ureia-So Yara, sendo estes fertilizantes comerciais os que apresentam os maiores teores de enxofre (20% e 9,2% respectivamente) e os responsáveis pela maior adição de enxofre por aérea para a mesma dose aplicada (200 kg N ha⁻¹).

O tratamento ureia-SH, que possui 7,2% de enxofre em sua composição proveniente da mistura com sulfato amônio, apresentou acúmulo de N nas raízes semelhante à testemunha absoluta (sem N) e ao tratamento que contendo o inibidor de urease (super N). Os menores acúmulos foram observados para os tratamentos contendo ureia granulada, ureia pura pastilhada e ureia-So que não diferiram entre si e foram inferiores a todos os outros tratamentos, inclusive ao tratamento sem aplicação de N (testemunha absoluta). O menor acúmulo de N nas raízes, para o tratamento que recebeu ureia granulada pode ter ocorrido devido à liberação do nitrogênio deste fertilizante ocorrer mais rapidamente (sem nenhum aditivo) promovendo efeito de salinidade e com isso um menor desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Para o tratamento que recebeu ureia-So, possivelmente este menor acúmulo de N na raiz pode ter ocorrido em função deste produto apresentar enxofre elementar como fonte de S, uma vez que as partículas (menores partículas) de enxofre elementar podem se recombinar no solo formando partículas maiores ocasionando uma menor velocidade de oxidação a sulfato (Cantarella et al, 2010) , resultando em liberação mais rápida do N contido no fertilizante.

Em comparação às doses de nitrogênio aplicadas (100 e 200 kg ha⁻¹), somente para o tratamento com o pastilhado ureia-SoB, o maior acúmulo de N foi observado quando se aplicou a maior dose de N (200 kg ha⁻¹). Em todos os outros tratamentos contendo produtos pastilhados, assim como os que receberam os fertilizantes comerciais, os melhores resultados para o acúmulo de N na raiz foram observados para a aplicação da dose 100 kg N ha⁻¹. Esses melhores resultados encontrados para o acúmulo de N na raiz quando aplicado a menor dose de fertilizante, pode estar associado ao efeito depressivo promovido pela aplicação da maior dose de N (200 kg N ha⁻¹), uma vez a maior adição de fertilizantes pode levar a ocorrência de salinidade, e conseqüentemente resultar em menor desenvolvimento do sistema radicular, conforme se observa na tabela 5, e conseqüentemente resultando em menor acúmulo de N pelas raízes. Rosolem et al.,(2003) observaram efeito depressivo no desenvolvimento de plantas de algodoeiro quando aplicado altas doses de nitrogênio.

Tabela 5: Teor de N total no solo, N total acumulado na massa seca de parte aérea (colmo + folha) e acumulado na massa seca de raiz após 60 dias de cultivo da cultura da cana-de-açúcar com aplicação das doses de 100 e 200 kg N ha⁻¹ de diferentes fertilizantes nitrogenados.

Fertilizantes	Nitrogênio Total no Solo (g/kg)				Nitrogênio Acumulado na Parte Aérea (g/vaso)				Nitrogênio Acumulado na Raiz (g/vaso)			
	Dose 100 kg/ha		Dose 200 kg/ha		Dose 100 kg/ha		Dose 200 kg/ha		Dose 100 kg/ha		Dose 200 kg/ha	
Testemunha abs	0,09	Da	0,09	Fa	0,14	Fa	0,14	Ga	0,10	Da	0,10	Ca
Ureia Granulada	0,10	Ca	0,09	Fb	0,54	Db	0,59	Da	0,21	Ba	0,08	Db
Super N	0,11	Cb	0,16	Ca	0,63	Ca	0,47	Eb	0,19	Ca	0,10	Cb
Sulfato Amônio	0,16	Ab	0,27	Aa	0,75	Aa	0,75	Aa	0,17	Ca	0,13	Bb
FH Nitro Gold	0,13	Bb	0,17	Ca	0,67	Ba	0,46	Eb	0,28	Aa	0,07	Db
Ureia-So Yara	0,11	Cb	0,15	Ca	0,60	Cb	0,76	Aa	0,24	Ba	0,15	Bb
Ureia Pastilhada	0,08	Db	0,12	Ea	0,45	Eb	0,58	Da	0,23	Ba	0,07	Db
Ureia-SH	0,10	Cb	0,14	Da	0,54	Da	0,49	Eb	0,21	Ba	0,11	Cb
Ureia-So	0,11	Cb	0,16	Ca	0,59	Ca	0,41	Fb	0,17	Ca	0,09	Db
Ureia-SHoB	0,07	Db	0,14	Da	0,58	Cb	0,68	Ca	0,30	Aa	0,15	Bb
Ureia-SoB	0,09	Db	0,16	Ca	0,44	Eb	0,71	Ba	0,11	Db	0,30	Aa
Ureia-B	0,08	Db	0,21	Ba	0,63	Ca	0,60	Da	0,28	Aa	0,15	Bb
CV (%)	11,36				6,34				13,41			

Médias seguidas da mesma letra *maiúscula na vertical e minúsculas na horizontal*, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Scott knott.

3.5.3 Nitrogênio Mineral no Solo

O nitrogênio pode estar presente no solo na forma orgânica ou inorgânica. A maior parte do N do solo está presente na forma orgânica podendo ser mineralizado através da hidrólise enzimática promovida pelos microrganismos do solo (Camargo et. al. 1997; Tisdale et. al. 1993). O N após mineralizado se apresenta na forma de N-NO₃⁻ ou N-NH₄⁺, podendo ser absorvido pelas plantas, adsorvido ao solo ou perdido por volatilização ou lixiviação.

Altos teores de nitrato (NO₃⁻) presente no solo podem resultar em maiores perdas por lixiviação, uma vez que a presença de cargas negativas na superfície do solo associadas à

umidade excessiva favorecem as perdas por lixiviação com o arraste deste íon ao longo do perfil do solo, para fora da área de exploração do sistema radicular das plantas podendo ainda contaminar os lençóis de água (Muzilli,1983). Porém os maiores teores de nitrato no solo podem favorecer a redução de perdas de N por volatilização. As perdas por volatilização podem ser maiores quando o solo apresenta altos teores de amônio (NH_4^+) e predominância de cargas positivas na superfície, uma vez que essas cargas podem se ligar a este íon convertendo-o a amônia (N-NH_3). Outro fator também a considerar é a absorção preferencial de amônio pelas plantas em relação ao nitrato, com isso os maiores teores de amônio no solo poderiam resultar em maior acúmulo de N na planta, sendo que este (NH_4^+) quando acumulado em altas concentrações no tecido vegetal se torna tóxico as plantas.

Comparando os teores de amônio (NH_4^+) no solo após adição de 100 kg N ha^{-1} , ao final dos 60 dias de cultivo, verifica-se na Tabela 6, que os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados ureia-So, ureia-SHoB e ureia-SoB, não diferiram entre si e foram tratamentos que resultaram nos maiores teores dessa forma de N, sendo também semelhantes ao tratamento que recebeu o produto comercial FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar), e a ureia pura pastilhada. Estes tratamentos foram significativamente superiores a todos os outros tratamentos utilizados, quanto aos teores de amônio no solo. Os produtos pastilhados que apresentaram maiores teores de amônio no solo foram os que apresentam enxofre elementar em sua composição, sendo possivelmente este elemento (enxofre elementar) responsável pelos maiores teores dessa forma de N no solo nesses tratamentos, uma vez que estes fertilizantes pastilhados podem ter ocasionado uma leve acidificação ao solo, em função da fonte de enxofre, inibida que a nitrificação (Rosolem et al., 2003). Os menores teores de amônio (NH_4^+) foram observados para os tratamentos com os pastilhados ureia-SH (ureia + sulfato de amônio) e ureia-B (ureia + bentonita) que também se assemelharam aos tratamentos com os fertilizantes comerciais ureia granulada e ao Super N produto (contendo inibidor da urease).

Comparando os diferentes tratamentos quanto aos teores de amônio (NH_4^+) no solo quando aplicados 200 kg N ha^{-1} , observa-se que o tratamento que recebeu sulfato de amônio foi o que proporcionou o maior teor de NH_4^+ no solo, diferindo significativamente de todos os demais tratamentos. O maior teor dessa forma de N apresentado por esse tratamento pode estar relacionada com a natureza do N proveniente deste produto (N amoniacal) associada ao alto de teor de enxofre na forma de sulfato (24%) apresentado por este fertilizante. Pois, o sulfato promove uma acidificação na região de aplicação do fertilizante, sendo que quando aplicado N amoniacal ao solo a acidez inibe a produção de nitrato (Adams & Martin, 1984). O tratamento contendo o pastilhado ureia-SH (ureia + sulfato de amônio), que possui 7,2% enxofre na forma de sulfato, apresentou o maior teor de amônio no solo entre os pastilhados, com a aplicação da maior dose de N (200 kg ha^{-1}). Evidenciando que a aplicação de ureia + sulfato (no mesmo produto) aumentou significativamente os teores de NH_4^+ no solo, quando comparado aos demais pastilhados, sendo este produto inferior apenas ao sulfato de amônio.

Os tratamentos que receberam a ureia, seja na forma granulada ou pastilhada, apresentaram resultados inferiores aos tratamentos sulfato de amônio e ureia-SH quanto aos teores de amônio no solo, no entanto, foram superiores aos demais tratamentos. O pastilhado ureia-B (ureia + bentonita) apresentou teor de amônio significativamente superior aos tratamentos contendo os fertilizantes comerciais FH Nitro Gold e ureia-So Yara (revestido e pastilhado com enxofre elementar respectivamente) como também ao Super N e aos pastilhados que contém essa fonte enxofre elementar em sua composição (ureia-So, ureia-SHoB, ureia-SoB. Os fertilizantes comerciais revestidos e pastilhados com enxofre elementar (FH Nitro Gold e ureia-So Yara) e a ureia pastilhada com enxofre elementar (ureia-So) resultaram em teores de NH_4^+ semelhantes, sendo estes superiores apenas em relação aos pastilhados ureia-SHoB e ureia-SoB e ao fertilizante comercial Super N. Os

tratamentos que proporcionaram os menores teores de NH_4^+ no solo foram os fertilizantes pastilhados ureia-SHoB e ureia-SoB, que possuem uma ou mais fonte de enxofre associados a presença de bentonita, e o fertilizante comercial Super N, que contém inibidor da uréase.

Observa-se de forma geral que com aplicação de 200 kg N ha^{-1} , os tratamentos que receberam fertilizantes que possuem enxofre elementar em sua composição apresentaram-se inferiores, quanto aos teores de NH_4^+ no solo, em relação aos fertilizantes que apresentam o sulfato como fonte de S. Podendo este resultado ser atribuído ao fato de que o enxofre elementar precisa ser oxidado a sulfato para ser assimilado pelas plantas e promover efeito de acidificação ao solo, favorecendo assim ao processo de nitrificação para as fontes de N contendo enxofre elementar (Adams & Martin, 1984).

Os maiores teores de amônio no solo ao final de 60 dias de cultivo com a cana-de-açúcar foram observados para a aplicação da maior dose de N (200 kg N ha^{-1}). Rosolem et al.(2003), observaram em experimento com algodão, que a medida que se aumentou a dose de N em cobertura em solo que recebeu calagem incorporada, os teores de N amoniacal também aumentaram.

Quanto aos teores de nitrato + nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) no solo, na dose de 100 kg N ha^{-1} , a ureia-So apresentou o melhor resultado entre os pastilhados e não diferiu dos tratamentos com ureia granulada e com a ureia pastilhada. Os tratamentos que receberam os pastilhados ureia-B, ureia-SoB e ureia-SH não diferiram entre si e apresentaram teores de nitrato no solo semelhantes ao encontrado para os fertilizantes comerciais Super N, FH Nitro Gold e ureia-So Yara. Dentre todos os fertilizantes, o pastilhado ureia-SHoB (ureia + sulfato, enxofre elementar e bentonita) juntamente com o fertilizante comercial sulfato de amônio, foram os tratamentos que apresentaram os menores teores de NO_3^- no solo.

Para a aplicação da maior dose de N (200 kg ha^{-1}), os maiores teores de nitrato são observados para os tratamentos que receberam os produtos comerciais ureia granulada, super N e FH Nitro Gold. Sendo estes tratamentos semelhantes ao fertilizante pastilhado ureia-So, que apresenta somente enxofre elementar adicionado a ureia.

Os tratamentos contendo os fertilizantes pastilhados ureia-B, ureia-SoB e ureia-SH apresentaram teores de nitrato semelhante ao tratamento com fertilizante comercial ureia-So Yara (ureia pastilhada com enxofre elementar). O menor teor de nitrato no solo, dentre todos os pastilhados, foi proporcionado pelo fertilizante ureia-SHoB, sendo este semelhante à ureia pastilhada, que diferiu significativamente do sulfato de amônio, que foi o tratamento que apresentou um menor teor desta forma de N entre todos os tratamentos, quando se aplicou dose equivalente a 200 kg N ha^{-1} .

Verificando-se os resultados para os teores de amônio (NH_4^+) e de nitrato + nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) no solo, podemos observar que os resultados apresentados pelos tratamentos com fertilizantes (comerciais e pastilhados) foram superiores ao resultado apresentado pela testemunha (sem aplicação de N) nas duas doses aplicadas (100 e 200 kg ha^{-1}), exceto para o tratamento com sulfato de amônio que apresentou teores de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ semelhantes ao apresentado pela testemunha absoluta (sem N) com a aplicação de 200 kg ha^{-1} . Em função de o sulfato apresentar N na forma amoniacal e sua característica ácida, este fertilizante confere uma rápida acidificação ao solo inibindo a nitrificação (Strong et al. 1997).

Em comparação as duas doses de N aplicadas através dos diferentes fertilizantes, observa-se que exceto para o tratamento que recebeu sulfato de amônio e o que recebeu a ureia pastilhada (não diferiram com a dose aplicada para os teores de nitrato), a aplicação de 200 kg N ha^{-1} conferiu os maiores teores de amônio e nitrato no solo após 60 dias de cultivo, para todos os tratamentos.

Tabela 6: Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato + nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) no solo após 60 dias de cultivo com a cultura da cana-de-açúcar e aplicação das doses de 100 e 200 kg N ha⁻¹ a partir de diferentes fertilizantes nitrogenados.

Fertilizantes	NH_4^+ (mg kg ⁻¹)				$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (mg kg ⁻¹)			
	Dose 100 kg/ha		Dose 200 kg/ha		Dose 100 kg/ha		Dose 200 kg/ha	
	Média	Letra	Média	Letra	Média	Letra	Média	Letra
Testemunha absoluta	0,00	Da	0,00	Ga	11,53	Da	11,53	Da
Ureia Granulada	30,04	Cb	148,14	Ca	38,96	Ab	60,73	Aa
Super N	34,33	Cb	114,35	Fa	35,90	Bb	64,58	Aa
Sulfato Amônio	45,15	Bb	172,33	Aa	22,67	Ca	17,95	Da
FH Nitro Gold	48,55	Ab	121,62	Ea	36,63	Bb	62,60	Aa
Ureia-So Yara	37,57	Bb	124,23	Ea	35,25	Bb	51,48	Ba
Ureia Pastilhada	53,56	Ab	150,52	Ca	45,50	Aa	47,51	Ca
Ureia-SH	22,15	Cb	160,70	Ba	33,20	Bb	52,39	Ba
Ureia-So	60,10	Ab	124,03	Ea	42,63	Ab	62,42	Aa
Ureia-SHoB	50,54	Ab	112,40	Fa	25,85	Cb	48,99	Ca
Ureia-SoB	54,20	Ab	116,89	Fa	29,70	Bb	54,58	Ba
Ureia-B	24,83	Cb	130,78	Da	35,75	Bb	54,15	Ba
CV (%)	7,28				9,44			

Médias seguidas da mesma letra *maiúscula na vertical e minúsculas na horizontal*, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Scott knott.

3.6 CONCLUSÕES

- i. A aplicação da maior dose de nitrogênio (200 kg ha^{-1}) através dos diferentes fertilizantes nitrogenados influenciou negativamente o desenvolvimento fenológico da cultura da cana-de-açúcar, sendo que os fertilizantes pastilhados apresentaram resultados semelhantes aos fertilizantes nitrogenados comerciais e em alguns casos inferiores.
- ii. O pastilhamento de ureia com sulfato de amônio e enxofre elementar com bentonita (ureia-SHoB) e somente com enxofre elementar na presença de bentonita (ureia-SoB), como também a associação somente de bentonita com a ureia pastilhada (ureia-B), apresentaram resultados positivos quando aplicado a maior dose (200 kg N ha^{-1}) em relação aos parâmetros avaliados (N total no solo, N acumulado na massa seca de parte aérea e N acumulado na raiz).
- iii. Os fertilizantes pastilhados contendo enxofre elementar na presença e na ausência de bentonita (ureia-SoB e ureia-So) ou quando associados com duas fontes de N (ureia + sulfato de amônio) e duas fontes de enxofre (sulfato e enxofre elementar) na presença de bentonita apresentaram maiores teores de NH_4^+ no solo em relação aos fertilizantes comerciais quando foi aplicada a menor dose de N e semelhantes aos produtos comerciais quanto aos teores de NO_3^- no solo para ambas as doses utilizadas.
- iv. A cana-planta (mudas micropropagadas) não respondeu positivamente a adubação aos diferentes fertilizantes nitrogenados para os parâmetros avaliados, uma vez que a cultura apresenta capacidade de realizar simbiose com bactérias diazotróficas fixando nitrogênio do ar, além de conter uma reserva de N proveniente das próprias mudas, apresentando bom desenvolvimento inicial somente com o N mineralizado proveniente do solo.

4 CAPÍTULO II

AVALIAÇÃO DE FONTES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EM FORNECER NITROGÊNIO PARA A CULTURA DO ALGODÃO (*Gossypium hirsutum*)

4.1 RESUMO

Existe uma tendência mundial na indústria de fertilizantes em mudar a produção de fontes contendo enxofre, como sulfato e amônio e superfosfato simples, para fontes mais concentradas em NPK, visando à redução do custo da adubação com macronutrientes primários e o fornecimento de enxofre. Com o objetivo de avaliar a eficiência de fontes de fertilizantes nitrogenados em fornecer nitrogênio para a cultura do algodão, foi realizado um experimento em casa de vegetação, com condições controladas de temperatura e umidade, localizada na área experimental do Departamento de Solos da UFRRJ. Foi utilizado um solo de textura arenosa, proveniente do horizonte A de um Planossolo Háplico. O solo foi incubado com a finalidade de elevar o pH para 6,5. O experimento foi instalado de forma inteiramente casualizada, em esquema fatorial 11 x 2 x 3 onde os fatores avaliados foram: cinco fertilizantes pastilhados, cinco fertilizantes comerciais, um fertilizante de ureia pura pastilhada, duas doses de N utilizadas, três repetições e uma testemunha absoluta (sem N) com três repetições, resultando assim em 69 unidades experimentais. Os fertilizantes foram aplicados (incorporados) no momento do plantio da cultivar de algodão BRS 293, e as doses utilizadas foram referentes à aplicação de 50 e 100 kg N ha⁻¹ respectivamente para cada um dos fertilizantes nitrogenados. No momento do plantio também foi aplicado uma dose referente a 80 kg ha⁻¹ P₂O₅ na forma de superfosfato triplo (46% P₂O₅) e 40 kg K₂O ha⁻¹ na forma de cloreto de potássio. Com a finalidade de avaliar a disponibilidade de nitrogênio adicionado ao solo em cada tratamento, foram semeadas dez sementes de algodão com realização de desbaste posteriormente, deixando duas plantas por vaso em ensaio de curto período de tempo e pequeno volume de solo. O experimento teve duração de 60 dias, e ao final deste período foram avaliados os parâmetros fenológicos (altura da planta, massa seca de parte aérea e massa seca de raiz), o acúmulo de nitrogênio na massa seca de parte aérea, acúmulo de nitrogênio na massa seca de raízes e o teor de nitrogênio total no solo e as formas de N presentes. Os fertilizantes pastilhados ureia-SHoB e ureia-SH apresentaram efeito positivo para o desenvolvimento das plantas de algodão para ambas as doses aplicadas (50 e 100 kg ha⁻¹), conferindo acúmulo de massa seca de parte aérea e de raiz semelhantes em alguns casos e superior em outros aos fertilizantes comerciais. O pastilhamento de ureia com sulfato de amônio, enxofre elementar e bentonita resultou em maior acúmulo de nitrogênio nas plantas de algodão, com a aplicação referente à menor dose de N (50 kg ha⁻¹), apresentando-se significativamente superior aos demais fertilizantes pastilhados e comerciais. A ureia pastilhada com enxofre elementar e bentonita (ureia-SoB) conferiu o maior teor de nitrogênio amoniacal no solo, dentre os tratamentos com os demais pastilhados, ao final do período de cultivo (60 dias) para ambas as doses de N aplicadas (50 e 100 kg ha⁻¹), sendo este resultado inferior ao apresentado pelo fertilizante comercial sulfato de amônio, semelhante ao fertilizante comercial contendo inibidor de urease (FH Nitro Gold), e estatisticamente superior aos demais fertilizantes comerciais quando aplicada a menor dose de N (50 kg ha⁻¹), e quando a maior dose de N (100 kg ha⁻¹), inferior somente ao sulfato de amônio e significativamente superior aos demais tratamentos, quanto aos teores de amônio no solo. Apresentando ainda, para esta maior dose de N aplicada, o maior teor de nitrato no solo ao final do período de cultivo das plantas (60 dias), mostrando-se estatisticamente superior aos demais tratamentos, quanto aos teores de nitrato no solo.

Palavras-chave: Fertilizante pastilhado. Enxofre elementar. Nitrogênio e enxofre. Algodão.

4.2 ABSTRACT

There is a world trend in the fertilizer industry in changing the production of sources containing sulfur, as ammonium sulfate and simple superphosphate to more concentrated sources in NPK, aiming at the reduction of the cost fertilization with primary macronutrients and the furnishing of sulfur. With the objective of evaluating the efficiency of sources of nitrogen fertilizers in supplying nitrogen to cotton crop, an experiment was conducted in greenhouse, under controlled temperature and humidity, located in the experimental area of the Soils Department of the UFRRJ. Sandy-textured material from the A horizon of a Fragiudult soil was used. The soil was incubated to raise pH to 6.5. The experiment was set up in a completely randomized way in a factorial scheme 11 x 2 x 3 where the evaluated factors were: five palletized fertilizers, five commercial fertilizers, one pelletized pure urea fertilizer, two doses of N utilized, three replications and one absolute control (without N) with three replications, resulting thus into 69 experimental units. The fertilizers were applied (incorporated) at the moment of planting of the cotton cultivar BRS 293 and the doses utilized were concerning the application of 50 and 100 kg N ha⁻¹ respectively for each of the nitrogen fertilizers. At the moment of planting, a dose concerning 80 kg ha⁻¹ P₂O₅ as triple superphosphate (46% P₂O₅) and 40 kg K₂O ha⁻¹ as potassium chloride was also applied. With the purpose of evaluating the availability of nitrogen added to soil in each treatment, ten cotton seeds were sown with the thinning afterwards, leaving two plants per pot in a short time period assay and small volume of soil. The experiment lasted 60 days and at the end of this period, the following phenological parameters were evaluated (plant height, shoot dry mass and root dry mass), the accumulation of nitrogen in the shoot dry mass, N accumulation in the root dry mass and the content of total soil nitrogen and the forms of N present. The pelletized fertilizers urea-SHoB and urea-SH presented positive effect for the development of the cotton plants of both the doses applied (50 and 100 kg ha⁻¹), providing accumulation of shoot and root dry mass similar in some cases and higher in others than the commercial fertilizers. Urea pelletizing with ammonium sulfate, elementary sulfur and bentonite resulted into increased accumulation of nitrogen in the cotton plants with the application concerning the smallest dose of N (50 kg ha⁻¹), proving significantly superior to the other pelletized and commercial fertilizers. Pelletized urea with elementary sulfur and bentonite (urea-SoB) conferred the highest content of ammoniacal nitrogen in soil, among the treatments with the other palletized fertilizers, at the end of the cropping period (60 days) for both the doses of N applied (50 and 100 kg ha⁻¹), this result being inferior to that presented by the commercial fertilizer ammonium sulfate, similar to the commercial fertilizer containing urease inhibitor (FH Nitro Gold) and statistically superior to the other commercial fertilizers when the smallest dose of N (50 kg ha⁻¹) was applied and when the greatest dose of N (100 kg ha⁻¹), inferior only to ammonium sulfate and significantly superior to the other treatment as to the contents of ammonium in soil. Presenting still for this greatest dose of N applied, the greatest content of soil nitrate at the end of the cropping period of the plants (60 days), proving statistically superior to the other treatments as to the content so nitrate in soil.

Key words: Pelletized fertilizer. Elementary sulfur. Nitrogen and sulfur. Cotton.

4.3 INTRODUÇÃO

A eficiência do uso de nitrogênio é a relação entre o ganho em produção por unidade de nutriente aplicado. Mas esta eficiência não é resultante somente do tipo de fertilizante ou da dose aplicada, é também dependente de outros fatores, como boas práticas de cultivo, uso de cultivares melhoradas, etc. Porém nem sempre é possível obter maiores produtividades com o aumento da dose de N aplicada, pois, pela lei dos rendimentos decrescentes, maiores doses de N aplicadas podem resultar em menores rendimentos e com isso menor eficiência do uso desse nutriente.

O desenvolvimento de novas tecnologias de fertilizantes nitrogenados tem sido uma das alternativas visando aumentar a eficiência de uso de N através da diminuição de perdas por volatilização, lixiviação e desnitrificação. Dentre essas tecnologias podemos destacar fertilizantes contendo produtos inibidores de nitrificação ou da uréase, misturas de fertilizantes com sulfato de amônio, adição de sais e ácidos para evitar transformação do N em amônia, utilização de compostos de baixa solubilidade, fertilizantes de liberação lenta recobertos por resinas, uso de polímeros e enxofre elementar. O desenvolvimento e utilização de novas tecnologias são necessários uma vez que se busca aumentar a eficiência do uso de fertilizantes aplicados.

O maior aproveitamento do N aplicado relacionado às das fases fenológicas que a planta apresenta, pode ser obtido em função da taxa de liberação do nutriente. Em alguns casos a forma que o produto apresenta pode refletir em menor taxa de liberação, o que pode resultar em menores perdas e melhor aproveitamento do N pela cultura.

Produtos diferenciados com misturas de diferentes fontes de N e S têm sido produzidos por empresas de fertilizantes em busca de reduzir perdas por volatilização e aumentar o fornecimento desses nutrientes (Vitti e Heirinchs, 2007).

Para a cultura do algodão a adubação nitrogenada apresenta resultados variáveis, pois de acordo com alguns autores (Silva et al., 2001a,b; Lamas & Status, 2005) foram observados ganhos de produtividade quando aplicado doses de N superiores a 150 kg ha^{-1} , mas em outros casos a aplicação de elevadas dose de N não influenciaram no rendimento dos componentes desta cultura.

Com o desenvolvimento da cotonicultura no país, a utilização de cultivares de algodão com grande capacidade produtiva tornou-se comum, ocasionando uma utilização de nutrientes cada vez maior, inclusive de N. Pois a utilização de nutrientes é um dos principais fatores que determina a produtividade do algodoeiro, sendo o nitrogênio um dos mais requeridos pela cultura e que tem demonstrado sua importância frente aos elevados ganhos de produtividade (Teixeira et al., 2008).

Assim, este capítulo tem como objetivo, avaliar o efeito de diferentes fertilizantes pastilhados NS em comparação a fertilizantes nitrogenados comerciais, quanto ao fornecimento de N para a cultura do algodão, analisando os parâmetros fenológicos da cultura, N total na parte aérea, na raiz e no solo, os teores de nitrato e amônio no solo, em função dos teores de N e S contidos nos fertilizantes utilizados e das fontes de enxofre empregadas.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio experimental foi conduzido em casa de vegetação climatizada (Figura 1) localizada na área experimental do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. O solo utilizado foi o mesmo do primeiro experimento, referente ao horizonte A de um Planossolo Háplico, cujas características químicas e físicas foram descritas na Tabela 1 e Tabela 2.

Os fertilizantes utilizados neste experimento foram os mesmos utilizados no primeiro ensaio experimental com a cultura da cana-de-açúcar, estando à caracterização química desses fertilizantes descrita no item 3.4.3 Tabela 3.

4.4.1 Condução do ensaio experimental com algodão

Este experimento foi conduzido entre os dias 11/11/2011 a 09/01/2012 resultando em 60 dias de cultivo para cultivar de algodão BRS 293.

Este experimento teve como finalidade avaliar cinco fertilizantes pastilhados NS em comparação a cinco fertilizantes comerciais e uma testemunha para avaliar o efeito do tamanho da pastilha (ureia pastilhada). Sendo os pastilhados preparados a partir das respectivas matérias primas: ureia fertilizante (45% N), sulfato de amônio (21% N e 24% S), enxofre elementar (95% S) e bentonita (composto de argila expansiva). Esses fertilizantes pastilhados foram comparados aos fertilizantes comerciais em um solo de textura arenosa avaliando-se o desenvolvimento das plantas de algodão, onde os fertilizantes comerciais serviram como testemunha para fins de comparação com os pastilhados.

O delineamento experimental utilizado para este experimento foi o inteiramente casualizado com esquema fatorial 11 x 2 x 3, onde os fatores estudados foram: cinco fertilizantes pastilhados, cinco fertilizantes comerciais, um fertilizante de ureia pura pastilhada, duas doses de N utilizadas, três repetições e uma testemunha absoluta (sem N) com três repetições, resultando assim em 69 unidades experimentais.

Os fertilizantes foram aplicados no momento do plantio do algodão cultivar BRS 293, utilizando-se duas doses de nitrogênio equivalentes a uma adubação de 50 e 100 kg N ha⁻¹ respectivamente para cada um dos fertilizantes. Essas doses foram aplicadas todas no momento do plantio com o objetivo de avaliar a eficiência dos fertilizantes em fornecer de N para as plantas, quando aplicados em grandes quantidades.

4.4.2 Cultivar de algodão utilizada

A cultivar de algodão (*Gossypium hirsutum*) utilizado nesse experimento foi a BRS 293. Esta é uma cultivar desenvolvida pela Embrapa Algodão que apresenta ciclo médio, sendo bastante responsiva a adubação nitrogenada.

As sementes de algodão utilizadas nesse experimento foram doadas pela Embrapa Algodão (Campina Grande- PB).

4.4.3 Procedimentos experimentais realizados para a cultura do algodão

4.4.3.1 Incubação do solo

O solo utilizado neste ensaio foi incubado com doses crescente de carbonato de cálcio a fim de obter a elevação do pH a 6,5, adotando-se as doses e o período de incubação previamente determinados para este solo (Stafanato, 2009), conforme descrito no item 3.4.6.1 correspondente a Material e Métodos do Capítulo I.

4.4.3.2 Implantação do experimento

Assim como no primeiro experimento, o ensaio com algodão também foi implantado em vasos plásticos com área de 0,033 m² onde foram adicionados 5 kg de material de solo (textura arenosa) previamente peneirado em malha 4 mm. O solo teve a umidade mantida em 70% da capacidade de campo, durante o experimento, com aplicação de uma lâmina de água diariamente, determinada através da pesagem dos vasos, onde a diferença de peso apresentada com relação ao peso do vaso inicialmente saturado a 70% correspondia à quantidade de água a ser adicionada, sendo esta aplicada com o uso de proveta graduada.

Os fertilizantes foram aplicados, para cada tratamento, de forma incorporada abaixo da camada superficial dos primeiros cinco centímetros de solo do vaso. Primeiramente a camada superficial (5 cm) foi retirada e acondicionada em outro vaso, e em seguida o restante de solo do vaso foi colocado em um balde maior para que pudesse receber o fertilizante e ser homogeneizado posteriormente. O solo após ter sido homogeneizado ao fertilizante retornou ao vaso, assim como também o solo retirado dos primeiros cinco centímetros que retornou para a parte superficial do vaso, para que então fosse realizado o plantio das sementes de algodão. No momento do plantio também foi realizada a adubação de fósforo com aplicação de dose equivalente a de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹, cuja fonte utilizada foi o superfosfato triplo (46% P₂O₅) e adubação potássica com dose referente a 40 kg K₂O ha⁻¹ aplicados na forma de cloreto de potássio. Esses fertilizantes (superfosfato triplo e KCl) também foram incorporados ao solo da mesma forma que o nitrogênio, sendo que a recomendação foi feita com base no resultado da análise de solo baseando-se no Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro (De- Polli et al, 1988) e Boletim 100.

Foram plantadas 10 sementes de algodão cultivar BRS 293 para cada vaso. Sendo feito desbaste sete dias após a emergência deixando apenas duas plantas por vaso. Os vasos foram dispostos em arranjo inteiramente ao acaso dentro da casa de vegetação, e o experimento conduzido por um período de 60 dias. Com a finalidade de avaliar a disponibilidade de nitrogênio adicionado ao solo em cada tratamento, foram utilizadas duas plantas por vaso em ensaio de curto período de tempo e pequeno volume de solo. De acordo com Neubauer & Schneider (1923), usando uma alta relação planta/solo é possível obter rápida exploração do volume de solo pelas raízes e absorção de nutrientes disponíveis em um curto período de crescimento, possibilitando identificar mudanças nas concentrações de elementos.

4.4.3.3 Análises químicas e parâmetros fenológicos

Assim como no primeiro ensaio experimental com a cultura da cana-de-açúcar, as plantas de algodão foram cultivadas por 60 dias, sendo coletadas ao final desse período para realização das análises químicas de solo e planta como descrito no item 3.4.6.4, com exceção para a determinação da altura das plantas, que neste experimento foi realizada com base em parâmetros morfológicos diferentes.

A determinação da altura das plantas de algodão (cm) foi realizada com o auxílio de uma fita métrica através da medida do colo da planta até o ápice, considerando a última gema do meristema apical do eixo caulinar da planta (Teixeira et al., 2008).

4.4.4 Análise estatística

A análise dos dados foi feita utilizando-se o programa SAEG. Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificar as pressuposições de normalidade e homogeneidade dos erros respectivamente. E realizado o teste F para análise de variância, e o teste de Scott Knott a 5% de probabilidade para teste de médias.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Parâmetros fenológicos

Na Tabela 7 são apresentadas as características fenológicas da cultivar de algodão BRS 293 aos 60 dias de cultivo após aplicação das doses referentes a 50 e 100 kg N ha⁻¹ a partir de diferentes fertilizantes pastilhados NS e fertilizantes nitrogenados comerciais.

Tabela 7: Parâmetros fenológicos analisados para a cultivar de algodão BRS 293 60 dias após o plantio com a aplicação das doses de 50 e 100 kg N ha⁻¹ a partir de diferentes fertilizantes nitrogenados.

Fertilizantes	Altura da planta (cm)		Massa Seca Parte Aérea (g/vaso)		Massa Seca Raiz (g/vaso)	
	Dose 50 kg/ha	Dose 100 kg/ha	Dose 50 kg/ha	Dose 100 kg/ha	Dose 50 kg/ha	Dose 100 kg/ha
Testemunha absoluta	42,5 Da	42,50 Da	34,50 Da	34,50 Aa	8,56 Aa	8,56 Aa
Ureia granulada	60,5 Aa	47,12 Bb	46,63 Ba	32,56 Ab	11,00 Aa	6,61 Bb
Super N	58,2 Aa	46,83 Bb	50,57 Ba	32,74 Ab	10,85 Aa	7,79 Ab
Sulfato amônio	56,3 Ba	43,08 Db	57,09 Aa	35,81 Ab	11,18 Aa	6,83 Bb
FH Nitro Gold	52,3 Ca	42,83 Db	42,77 Ca	21,43 Bb	12,60 Aa	4,96 Ab
Ureia-So Yara	56,5 Ba	48,75 Ab	53,61 Aa	34,57 Ab	9,55 Aa	6,75 Bb
Ureia Pastilhada	55,8 Ba	47,75 Bb	49,00 Ba	32,95 Ab	10,90 Aa	4,13 Cb
Ureia-SH	53,3 Ca	46,08 Bb	54,64 Aa	34,70 Ab	10,28 Aa	8,07 Ab
Ureia-So	56,3 Ba	49,75 Ab	46,64 Ba	34,63 Ab	10,53 Aa	7,69 Ab
Ureia-SHoB	60,3 Aa	47,83 Bb	51,95 Aa	32,76 Ab	11,33 Aa	7,02 Bb
Ureia-SoB	58,7 Aa	45,25 Cb	41,00 Ca	20,36 Bb	10,07 Aa	7,78 Ab
Ureia-B	60 Aa	46,75 Bb	41,28 Ca	33,57 Ab	9,67 Aa	7,25 Bb
CV (%)	3,83		6,49		12,76	

Médias seguidas da mesma letra *maiúscula na vertical e minúsculas na horizontal*, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Scott knott.

Analisando os resultados para a variável altura da planta ao final de 60 dias de cultivo, quando aplicado a dose 50 kg N ha⁻¹, verifica-se que os tratamentos com fertilizantes pastilhados contendo bentonita em sua composição (ureia-SHoB, ureia-SoB e ureia-B) apresentaram os melhores resultados, contudo, esses tratamentos foram semelhantes aos tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais ureia granulada e super N (com inibidor de urease), e diferenciaram-se dos demais tratamentos. O tratamento correspondente a ureia-So (ureia pastilhada com enxofre elementar) apresentou resultado, para altura de plantas, significativamente semelhante aos produtos comerciais ureia-So Yara (ureia pastilhada com enxofre elementar) e ao sulfato de amônio, como também ao tratamento ureia pastilhada, cujo objetivo é isolar o efeito do tamanho da pastilha. Os tratamentos ureia-SH (ureia + sulfato de amônio) e FH Nitro Gold apresentaram os menores valores para altura das plantas.

De forma geral todos os tratamentos contendo fertilizantes apresentaram resultados superiores ao tratamento testemunha (sem N) para a altura de plantas, quando utilizada dose

de 50 kg N ha⁻¹. Esses resultados mostram resposta positiva do algodoeiro à adubação nitrogenada, e a eficiência de diferentes fertilizantes nitrogenados em fornecer N à cultura, durante o período em que foram cultivadas, quando aplicados em doses adequadas.

O mesmo parâmetro fenológico (altura da planta) apresentou diferentes resultados entre os tratamentos, quando foi realizada adubação referente à dose de 100 kg N ha⁻¹. Entre os tratamentos com os fertilizantes pastilhados, o maior valor encontrado para a variável altura de planta (cm) foi conferido pela aplicação do pastilhado ureia-So, sendo o resultado apresentado por este produto semelhante ao resultado apresentado pelo fertilizante comercial ureia-So Yara e superior aos demais fertilizantes pastilhados e comerciais. Esse resultado pode ser devido a esses dois tratamentos, apresentarem forma e composição semelhantes. Ambos possuem a forma pastilhada e são resultantes da mistura de ureia e enxofre elementar. Características essas que podem conferir uma lenta liberação do nitrogênio, o que provavelmente pode promover um melhor fornecimento deste nutriente durante o período em que as plantas foram cultivadas (60 dias), resultando conseqüentemente em maior desenvolvimento das plantas que receberam esses tratamentos. Pois, de acordo com Cantarella e Montezano (2010), a forma como o enxofre elementar se encontra incorporado ao fertilizante pode afetar a sua velocidade de oxidação a sulfato no solo, sendo que a acidificação conferida pelo sulfato proporciona uma liberação mais lenta do N do fertilizante. Para os tratamentos com os pastilhados ureia-B, ureia-SHoB e ureia-SH os resultados apresentados foram semelhantes e não diferiram dos tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais ureia granulada e Super N, assim como também não diferiram do tratamento que recebeu ureia pastilhada, sendo o objetivo deste tratamento isolar o efeito do tamanho da pastilha. Dentre os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados o menor crescimento de planta em altura foi observado para o tratamento referente ao pastilhamento de ureia com enxofre elementar na presença de bentonita (ureia-SoB), no entanto, este tratamento foi significativamente superior aos tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais sulfato de amônio e FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar).

Ao comparar a variável altura das plantas para as duas doses de N aplicadas (50 e 100 kg ha⁻¹), verifica-se que a menor dose (50 kg ha⁻¹) apresentou resultados significativamente melhores em todos os tratamentos.

Rosolem et al.(2003) também observaram efeitos semelhantes em experimento de casa de vegetação, onde o acúmulo de matéria seca para as plantas de algodão decresceu a medida que aumentou-se a dose de N aplicada em solo que recebeu calagem incorporada, uma vez que altura de plantas pode estar diretamente relacionada com o acúmulo de massa seca. O que pode justificar os resultados que foram apresentados neste experimento com algodão, em que se observa efeito depressivo no crescimento de plantas de algodoeiro quando aplicado a maior dose de nitrogênio (100 kg ha⁻¹).

Avaliando o acúmulo de massa seca na parte aérea das plantas para os diversos tratamentos, observa-se que o fertilizante pastilhado que apresenta sulfato + enxofre elementar e o que apresenta somente sulfato de amônio (ureia-SH e ureia-SHoB) não diferiram entre si e foram superiores aos demais pastilhados, quando foram aplicados 50 kg N ha⁻¹. Para esta mesma dose de N aplicada os melhores resultados entre os fertilizantes comerciais foram observados para os tratamentos com sulfato de amônio e ureia-So Yara que não diferiram entre si e foram semelhantes aos pastilhados ureia-SH e ureia-SHoB. O sulfato de amônio (24% S) é responsável por uma maior quantidade de enxofre adicionada ao solo (57,14 kg S ha⁻¹), entre todos os tratamentos, para a mesma dose aplicada (50 kg N). Assim como também a ureia-So Yara possui concentração de enxofre elementar de 9,2% (maior concentração de enxofre elementar entre os tratamentos). Dessa forma, a maior concentração de enxofre presente nesses fertilizantes podem ter sido responsáveis pelos melhores resultados encontrados para o acúmulo de massa seca nas plantas, pois essa maior concentração de

enxofre nesses fertilizantes pode ter possivelmente resultado na redução de perdas por volatilização, quando comparados aos outros fertilizantes comerciais e pastilhados. De forma geral, os tratamentos que apresentam o sulfato de amônio se mostraram superiores quando comparados com a maioria dos tratamentos. Sendo que esse melhor desempenho apresentado por esses produtos pode ter ocorrido em função da acidificação promovida pelo sulfato na região de aplicação do fertilizante, favorecendo a redução das perdas por volatilização. Uma vez que, como estratégia para minimizar perdas de NH_3 por volatilização, a mistura de ureia com sulfato de amônio tem sido utilizada, além de ainda fornecer enxofre (Cantarella e Montezano, 2010). O tratamento com o fertilizante pastilhado ureia-So (ureia + enxofre elementar) apresentou também um dos maiores acúmulos de massa seca de parte aérea, sendo significativamente semelhante aos produtos comerciais Super N, ureia granulada e também a ureia pastilhada (efeito do tamanho da pastilha). O menor acúmulo de massa seca de parte aérea observado dentre os tratamentos com os fertilizantes pastilhados foram conferidos com a aplicação dos pastilhados ureia-B (ureia + bentonita) e ureia-SoB (ureia + enxofre elementar e bentonita), tendo esses tratamentos apresentado resultados semelhantes ao encontrado para o tratamento que recebeu o fertilizante comercial FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar). Estes tratamentos apresentaram-se significativamente inferiores entre todos os tratamentos, exceto para a testemunha absoluta (sem N). O menor acúmulo de massa seca para esses tratamentos pode estar relacionado com a presença de bentonita nos pastilhados (ureia-B e ureia-SoB) e a fonte de enxofre apresentada pelo fertilizante comercial FH Nitro Gold e pelo pastilhado ureia-SoB, pois a bentonita, uma vez que confere alta capacidade de expansão e retenção de íons, pode estar aprisionando o N do fertilizante, e a associação de bentonita com enxofre elementar (ureia-SoB) ou a presença somente do enxofre elementar na forma de revestimento do fertilizante comercial (FH Nitro Gold) que pode também resultar em menor eficiência na redução de perdas de N do fertilizante, uma vez que a forma como o enxofre elementar é incorporado ao fertilizante pode afetar a velocidade com que o mesmo se oxida a sulfato no solo, podendo ocorrer agregação de partículas finas entre si, e com isso apresentar lenta taxa de oxidação de enxofre, uma vez que a agregação das partículas reduz a eficiência das bactérias oxidativas do solo (Cantarella e Montezano, 2010).

Considerando o acúmulo de massa seca na parte aérea quando aplicados 100 kg N ha^{-1} , verifica-se que com exceção do fertilizante pastilhado Ureia-SoB (ureia + enxofre elementar + bentonita) e do comercial FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar), que não diferiram entre si resultando em menor acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas, todos os outros tratamentos apresentaram resultados superiores e foram significativamente semelhantes entre si, inclusive a testemunha (sem aplicação de N), pelo teste de Scott Knott a 5%.

Assim como para a variável altura da planta, os resultados apresentados para massa seca de parte aérea foram superiores quando aplicou a menor dose de nitrogênio (50 kg ha^{-1}) para todos os tratamentos utilizados, quando comparados com a maior dose de N aplicada (100 kg ha^{-1}). Esses resultados evidenciam mais uma vez o efeito depressivo no crescimento de plantas de algodoeiro quando aplicado a maior dose de nitrogênio (100 kg ha^{-1}), sendo a aplicação da alta dose de N a possível responsável pelo menor acúmulo de massa seca de parte aérea das plantas, conforme também observado por Rosolem et al. (2003).

Analisando os valores de massa seca de raiz, observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos utilizados, sendo semelhantes também ao tratamento referente à testemunha absoluta (sem N), quando foram aplicados 50 kg N ha^{-1} . Para esta variável os fertilizantes pastilhados não diferiram dos fertilizantes comerciais quando aplicado dose referente a 50 kg N ha^{-1} . O acúmulo de massa seca de raiz apresentado para testemunha absoluta semelhante ao apresentado pelos tratamentos que receberam fertilizantes pode ter ocorrido devido às plantas cultivadas nesse tratamento (sem N) apresentar um maior

desenvolvimento do sistema radicular, onde a planta como mecanismo para suprir sua demanda nutricional, passa a emitir mais raízes a fim de explorar um maior volume de solo. Pois de acordo com o observado por Souza & Fernandes (2006) a planta promove inicialmente um alongamento do sistema radicular, como uma tentativa de buscar o nutriente. Esses resultados semelhantes apresentado entre os tratamentos para o acúmulo de massa seca de raiz com a menor dose aplicada (50 kg N ha^{-1}), podem estar associados com a marcha de absorção de nutrientes apresentada pela cultura do algodão, que segue o padrão de crescimento (Carvalho et al., 2007), e com a aplicação da dose econômica para a cultura, que pode variar em função da cultivar, da região de cultivo, etc. Pois de acordo com Carvalho et al. (2007) a planta de algodão apresenta crescimento inicial lento, aumentando a partir dos 30 dias do plantio e apresenta uma absorção máxima de nutriente entre 60 e 90 dias do plantio. Para o estado de São Paulo Silva et al. (1993) chegaram a conclusão que a aplicação de doses acima de 70 kg N ha^{-1} não seriam econômicas. Dessa forma pode-se dizer então que a aplicação da dose referente a 50 kg N ha^{-1} seria adequada para a cultivar de algodão BRS 293, promovendo um bom desenvolvimento radicular em todos os tratamentos utilizados, quando cultivado até os 60 dias. Uma vez que essa mesma dose também apresentou melhores resultados quanto ao acúmulo de massa seca de raiz, acúmulo de massa seca de parte aérea e altura das plantas, quando comparada a dose referente a 100 kg N ha^{-1} .

Quando aplicados 100 kg N ha^{-1} , os melhores resultados de massa seca de raiz foram encontrados para os tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais super N, que possui inibidor da uréase e para o FH Nitro Gold, revestido com enxofre elementar (7,9%), sendo que estes não diferiram entre si e foram semelhantes aos pastilhados ureia-So, ureia-SH, e ureia-SoB não diferindo também da testemunha absoluta (sem de N). Observa-se que os melhores resultados dentre os fertilizantes pastilhados foram referentes aos tratamentos em que os pastilhados continham somente uma fonte de enxofre e quando o enxofre elementar encontra-se na presença de bentonita (ureia-SH, ureia-So e ureia-SoB). A massa seca de raiz para testemunha apresentou-se semelhante aos melhores resultados encontrados para alguns tratamentos que receberam fertilizantes. Isso se deve ao fato de que nesse tratamento as plantas investiram mais no desenvolvimento radicular a fim de explorar maior volume de solo e assim suprir sua demanda por nutrientes, como também já foi observado em experimentos por Souza & Fernandes (2006).

Os tratamentos com os pastilhados de ureia contendo sulfato de amônio, enxofre elementar e bentonita (ureia-SHoB) e somente bentonita (ureia-B) apresentaram desenvolvimento radiculares significativamente semelhantes aos produtos comerciais ureia granulada, sulfato de amônio e a ureia pastilhada com enxofre elementar da Yara (ureia-So Yara), entretanto, estes tratamentos assim como os demais pastilhados, foram estatisticamente superiores ao tratamento que avaliou o efeito do tamanho da pastilha (ureia pastilhada).

Em comparação as duas doses de nitrogênio aplicadas (50 e 100 kg N ha^{-1}), os resultados para acúmulo de massa seca de raiz foram superiores com aplicação da menor dose de N (50 kg N ha^{-1}). Diante desses resultados observa-se uma relação entre todos os parâmetros fenológicos analisados (altura planta, massa seca de parte aérea e massa seca de raiz), onde a maior dose aplicada (100 kg N ha^{-1}) promoveu resultados inferiores aos resultados apresentados pela menor dose de N aplicada (50 kg N ha^{-1}). Esses resultados corroboram os resultados encontrados por Silva et al. (1993) que concluíram que a aplicação de doses de N acima de 70 kg N ha^{-1} não seriam consideradas econômicas para o estado de São Paulo.

4.5.2 Nitrogênio total no solo, parte aérea e na raiz

Os resultados referentes aos teores residuais de N total no solo, resultantes da aplicação de fertilizantes pastilhados contendo diferentes fontes de enxofre e dos diferentes

fertilizantes nitrogenados comerciais encontra-se na Tabela 8. Verifica-se que com a aplicação de 50 kg N ha^{-1} os maiores teores de N total no solo foram proporcionados pelos tratamentos que receberam os pastilhados ureia-So, ureia-SoB e ureia-B (ureia com enxofre elementar, ureia com enxofre elementar e bentonita e ureia com bentonita). Esses pastilhados não diferiram entre si e foram significativamente semelhantes aos fertilizantes comerciais sulfato de amônio e FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar) quando se aplicou 50 kg N ha^{-1} , sendo que estes tratamentos também não diferiram da testemunha absoluta (sem N). Os tratamentos que se apresentaram superiores aos demais, quanto aos teores de N total no solo, são referentes aqueles fertilizantes pastilhados que apresentam somente enxofre elementar em sua composição e/ou associado à bentonita e ainda ao que apresenta somente bentonita misturada a ureia, e referentes aos fertilizantes comerciais sulfato de amônio, que apresenta maior concentração de enxofre dentre os fertilizantes (24% S), e FH Nitro Gold, que apresenta revestimento com enxofre elementar (7,9% S). Esses fertilizantes em função da natureza e/ou composição podem ter promovido uma liberação mais lenta do N do fertilizante e conseqüentemente um maior efeito residual de N no solo. Segundo Strong et al. (1997) a aplicação de sulfato de amônio leva a uma rápida queda no pH do solo inibindo o processo de nitrificação que pode resultar em perda de N. Já a testemunha pode ter apresentado teor de N total no solo semelhante a esses tratamentos, uma vez que não recebendo adição de N através de fertilizante, pode ter apresentado menor taxa de mineralização da matéria orgânica durante período de cultivo, preservando assim o N nativo do solo. Rosolem et al. (1991) concluíram que, em condições de campo, a adição de fertilizantes nitrogenados adicionados ao solo na presença de calagem, levou a diminuição dos teores de nitrogênio total, uma vez que a rápida nitrificação do N do fertilizante pode levar a perdas por desnitrificação.

Os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados ureia-SH e ureia-SHoB (duas fontes de N: ureia e sulfato de amônio) apresentaram teores totais de N no solo semelhantes aos tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais ureia granulada, Super N, ureia-So Yara (pastilha de ureia com enxofre elementar) como também ao tratamento ureia pastilhada (visa isolar o efeito do tamanho da pastilha), entretanto, estes foram significativamente inferiores a testemunha absoluta (sem N).

Quando aplicados 100 kg N ha^{-1} , todos os tratamentos foram superiores a testemunha absoluta (sem N), mas o melhor resultado foi apresentado pelo tratamento que recebeu o fertilizante pastilhado ureia-SoB (ureia + enxofre elementar na presença de bentonita). A aplicação de 100 kg N ha^{-1} desse fertilizante (ureia-SoB), conferiu também adição ao solo de $17,45 \text{ kg}$ de S na forma elementar e $1,80 \text{ kg}$ de bentonita, que é um composto de argila que quando em contato com a umidade do solo, tem a capacidade de expandir seu volume em até vinte vezes, ocasionando provavelmente uma maior adsorção de íons em sua superfície, o que pode ter resultado em uma liberação lenta do N do fertilizante para sistema. Essas características apresentadas pelo pastilhado ureia-SoB, provavelmente podem ser responsáveis pelo maior teor de N total encontrado neste tratamento.

O fertilizante pastilhado ureia-SoB diferiu significativamente do pastilhado ureia-So (ureia + enxofre elementar), entretanto, este fertilizante (ureia-So) apresentou-se semelhante ao fertilizante comercial ureia granulada, quanto aos teores de N total no solo. O fertilizante pastilhado ureia-SH (ureia pastilhada com sulfato de amônio) apresentou teores de N total no solo semelhante aos fertilizantes comerciais super N, sulfato de amônio e a ureia-So Yara (pastilha de ureia com enxofre elementar). No entanto, estes tratamentos foram significativamente superiores aos tratamentos que receberam os pastilhados ureia-B (ureia + bentonita) e ureia-SHoB (ureia + sulfato de amônio, enxofre elementar na presença de bentonita) que se apresentaram significativamente semelhantes ao fertilizante comercial FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar) e ao tratamento que recebeu ureia pastilhada, cujo objetivo foi isolar o efeito do tamanho da pastilha.

De acordo com os resultados apresentados para o teor de nitrogênio total no solo, com a aplicação de duas doses de N (50 e 100 kg ha⁻¹), observamos que para todos os tratamentos, com exceção da testemunha absoluta (sem N), a menor dose aplicada (50 kg) apresentou-se significativamente superior, conferindo os maiores teores de N total no solo. Nesse caso, observando que o tratamento referente à testemunha absoluta (sem N) apresentou maiores teores de N total no solo quando comparado aos tratamentos que receberam os fertilizantes nitrogenados. Pode-se dizer que o maior teor de N no solo, conferido inicialmente pela aplicação da maior dose aplicada (100 kg N ha⁻¹), possivelmente pode ter promovido um estímulo aos microrganismos do solo ocasionando uma maior taxa de mineralização da matéria orgânica do solo. De acordo com Ferreira et al. (2004) quando realizada a aplicação de doses muito altas de N, as perdas desse elemento no sistema podem ser potencializadas, uma vez que a dose aplicada se encontra acima da capacidade da cultura em absorver o nutriente.

Comparando os teores de nitrogênio total acumulado na parte aérea das plantas (tabela 9), observa-se que quando foram aplicados 50 kg N ha⁻¹, o tratamento referente ao fertilizante pastilhado ureia-SHoB diferiu significativamente entre todos os tratamentos, apresentando o maior acúmulo de N na parte aérea das plantas, mostrando assim um efeito positivo conferido por este fertilizante, uma vez que se mostrou superior aos demais tratamentos utilizados. Esse resultado pode estar associado à mistura de duas diferentes fontes de enxofre (sulfato e enxofre elementar) mais a presença de bentonita neste fertilizante, diferenciando-o dos fertilizantes que apresentam apenas uma fonte de enxofre. Pois a eficiência do enxofre associado ao fertilizante nitrogenado está associada à natureza da fonte de enxofre empregada. Sendo que o enxofre elementar para estar prontamente disponível para as plantas e conferir efeito de acidificante na região de aplicação do fertilizante precisa ser oxidado a sulfato (SO₄²⁻), e velocidade de oxidação a sulfato no solo pode ser influenciada pela forma como o enxofre elementar é empregado ao fertilizante (Cantarella e Montezano, 2010). Analisando os demais fertilizantes pastilhados quanto ao acúmulo de N total na parte aérea das plantas de algodão, verifica-se que a ureia-SH (ureia + sulfato de amônio), ureia-So (ureia + enxofre elementar) e ureia-SoB (ureia + enxofre elementar na presença de bentonita) apresentaram-se inferiores somente ao pastilhado ureia-SHoB, mas não diferiram entre si e foram semelhantes aos fertilizantes comerciais super N (com inibidor de uréase), FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar) e ureia-So Yara (pastilha de ureia com enxofre elementar). Esses fertilizantes comerciais contendo enxofre elementar (ureia-So Yara e FH Nitro Gold) apresentam um maior teor de S (9,2% e 7,9% respectivamente) comparados aos fertilizantes pastilhados que apresentam 7,2%, porém estes últimos (pastilhados), através de duas diferentes fontes de S ou ainda pela combinação delas. Contudo, pode-se dizer que mesmo não havendo diferenças estatísticas entre esses fertilizantes pastilhados e comerciais, os pastilhados possivelmente tendem a ser mais eficientes, uma vez apresentam menor teor de enxofre em sua composição.

O menor acúmulo de N total na parte aérea das plantas de algodão foi observado para os tratamentos referentes aos fertilizantes ureia granulada, sulfato de amônio, ureia pura pastilhada e ureia pastilhada com bentonita (ureia-B), estes foram superiores somente a testemunha absoluta (sem N) quando se aplicou 50 kg N ha⁻¹.

Considerando ainda os teores de nitrogênio acumulado na parte aérea, para a aplicação de uma dose de N referente a 100 kg ha⁻¹, observa-se que o tratamento que recebeu o pastilhado ureia-SH (ureia + sulfato de amônio) diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, apresentando o maior acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas de algodão. Esse resultado pode estar associado à mistura de ureia com sulfato de amônio, sendo o sulfato um sal que apresenta uma reação levemente ácida quando aplicado ao solo, capaz de promover diminuição das perdas por volatilização NH₃ (Cantarella e Montezano, 2010). A

redução de perdas de NH_3 em função da adição de sulfato de amônio a ureia foram maiores do que quando foi feita uma substituição proporcional do nitrogênio amídico pelo nitrogênio amoniacal, conforme observado em alguns estudos (Lara Cabezas et al., 1992; Vitti et al., 2002). O tratamento que recebeu o pastilhado de ureia com bentonita (ureia-B) apresentou acúmulo de N na parte aérea semelhante aos tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais super N e a ureia-So Yara (pastilha de ureia com enxofre elementar). Os tratamentos que receberam os pastilhados ureia-SHoB e ureia-So não diferiram entre si e resultaram em um acúmulo N total na parte aérea semelhante somente ao tratamento que teve como objetivo isolar o efeito do tamanho da pastilha (ureia pastilhada).

O menor acúmulo de N na parte aérea foi observado para os tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais sulfato de amônio e FH Nitro Gold, que não diferiram entre si e foram semelhantes ao pastilhado ureia-SoB. O menor acúmulo apresentado de N na parte aérea das plantas de algodão conferido por esses fertilizantes pastilhados que possuem enxofre elementar em sua composição, possivelmente pode ter ocorrido em função da lenta taxa de oxidação do enxofre elementar promovida por bactérias do solo, acidificando mais lentamente a região de aplicação, ocorrendo maiores perdas de N uma vez que a elevação do pH desse solo a 6,5 favorece perdas por volatilização (Cantarella et al., 2010). A taxa de oxidação do enxofre pode sofrer a influência de diversos fatores, como tamanho das partículas de enxofre elementar, umidade do solo, temperatura e tipo de solo (Horowitz & Meurer, 2006; Scherer 2001; Solberg et al., 2003). Mas para o sulfato de amônio o baixo teor de N acumulado pode ter sido resultante da adição de grande quantidade de enxofre ao solo ($114,24 \text{ kg ha}^{-1}$) quando foram aplicados 100 kg N ha^{-1} , uma vez que o sulfato apresenta 24% de enxofre.

Assim como o nitrogênio o enxofre também participa na formação de vários compostos, como aminoácidos, proteínas, lipídeos, polissacarídeos entre outros, bem como o controle hormonal atuando diretamente no crescimento e diferenciação celular. Por isso o enxofre também está presente em todas as funções e processos que ocorre na vida dos vegetais. Uma relação adequada N/S (12/1 a 15/1) está diretamente associada ao desenvolvimento e a produção dos vegetais (Stipp & Casarin, 2010). De acordo com os resultados descritos por esses autores, pode-se dizer que provavelmente a alta concentração de enxofre fornecida com a aplicação de 100 kg ha^{-1} pode estar inibindo a absorção de N pela cultura, resultando em acúmulo inferior ao apresentado por outros tratamentos. Pois com a aplicação de 100 kg ha^{-1} de sulfato de amônio (21% N e 24% S) fica evidente que uma quantidade de enxofre superior a de N ($114,29 \text{ kg S ha}^{-1}$) está sendo fornecida para as plantas de algodão.

Comparando os resultados para o de acúmulo de N total na parte aérea das plantas quando aplicadas as doses de 50 e 100 kg N ha^{-1} , verificamos que em todos os tratamentos os resultados foram superiores quando aplicado a maior dose de N (100 kg ha^{-1}). Rosolem et al. (2003), observaram em experimento de casa de vegetação um aumento linear do acúmulo de N na parte aérea do algodoeiro para aplicação de doses crescentes de N até 150 kg ha^{-1} , quando realizada adubação nitrogenada em solo que recebeu aplicação incorporada de calcário.

Considerando o acúmulo de N na raiz das plantas de algodão, observa-se que em todos os tratamentos que receberam fertilizantes nitrogenados com dose equivalente a 50 kg N ha^{-1} , os resultados apresentados foram superiores ao encontrados para a testemunha absoluta (sem N).

Para os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados os melhores resultados foram observados para a ureia-SoB e ureia-SHoB que não diferiram entre si e foram semelhantes aos tratamentos contendo os fertilizantes comerciais ureia granulada e o FH Nitro Gold. Os tratamentos referentes a esses fertilizantes diferiram significativamente entre todos

os tratamentos. Para os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados ureia-B, ureia-So e ureia-SH resultaram em acúmulo de N na parte aérea do algodão significativamente semelhante aos fertilizantes comerciais ureia-So Yara (pastilha de ureia com enxofre elementar), sulfato de amônio e super N, como também se assemelharam a ureia pastilhada (efeito do tamanho da pastilha), sendo estes superiores somente a testemunha absoluta (sem N).

Com a aplicação da dose referente a 100 kg N ha^{-1} , o maior acúmulo de N na raiz das plantas de algodão entre todos os tratamentos, foi observado quando aplicado o fertilizante pastilhado ureia-SH. Este fertilizante apresentou um acúmulo de N na raiz, que representa quase o dobro do valor encontrado quando aplicados os produtos comerciais sulfato de amônio e o FH Nitro Gold, sendo que estes dois fertilizantes comerciais foram semelhantes entre si e estatisticamente inferiores aos demais tratamentos apresentando os menores acúmulos de N nas raízes, exceto para a testemunha absoluta (sem N). Para esses tratamentos os menores acúmulos de N nas raízes podem ter ocorrido, em função de fatores como a grande quantidade de enxofre adicionada ao solo quando aplicado sulfato de amônio (24% S) e da menor eficiência da fonte de enxofre presente no FH Nitro Gold, uma vez que este fertilizante apresenta revestimento com enxofre elementar. Onde o tamanho das partículas de enxofre elementar pode sofrer uma dispersão no solo e posterior recombinação de partículas de enxofre resultando em partículas maiores, o que poderá ocasionar lenta taxa de oxidação desse elemento (S), ocasionando uma rápida liberação do nitrogênio favorecendo as perdas por volatilização. Cantarella et al. (2010) mostraram em experimentos com milho, que fertilizantes revestidos com enxofre elementar apresentaram desempenho inferior a aqueles em que o enxofre foi incorporado ao grânulo de superfosfato triplo, pois a velocidade com que o enxofre é oxidado a sulfato no solo, pode ser influenciada pela forma de incorporação desse elemento ao fertilizante. O tratamento que recebeu o pastilhado de ureia com enxofre elementar na presença de bentonita (ureia-SoB) apresentou-se semelhante ao fertilizante comercial super N, resultando em um dos maiores acúmulos de N nas raízes. A ureia-B (ureia + bentonita) apresentou acúmulo de N nas raízes semelhante ao fertilizante ureia-So Yara (pastilha de ureia com enxofre elementar), contudo, estes foram significativamente superiores aos pastilhados ureia-So e ureia-SHoB, que resultaram em um maior acúmulo de N nas raízes quando comparado com os produtos comerciais ureia granulada, sulfato de amônio e FH Nitro Gold.

Comparando a acúmulo de N total na raiz das plantas de algodão para as doses de N aplicadas (50 e 100 kg N ha^{-1}), observa-se que para os tratamentos que receberam os fertilizantes ureia granulada, super N, sulfato de amônio, FH Nitro Gold e ureia-SHoB, não houve diferença significativa entre as doses utilizadas. Para os demais tratamentos os maiores acúmulos de N total na raiz das plantas foram observados com a aplicação da dose referente a 100 kg N ha^{-1} .

Tabela 8: Teor de N total no solo, N total acumulado na massa seca de parte aérea e na massa seca de raiz para a cultivar de Algodão BRS 293 após 60 dias de cultivo com aplicação das doses de 50 e 100 kg N ha⁻¹ de diferentes fertilizantes nitrogenados.

Fertilizantes	Nitrogênio Total no Solo (g/kg)				Nitrogênio Acumulado na Parte Aérea (g/vaso)				Nitrogênio Acumulado na Raiz (g/vaso)			
	Dose 50 kg/ha		Dose 100 kg/ha		Dose 50 kg/ha		Dose 100 kg/ha		Dose 50 kg/ha		Dose 100 kg/ha	
Testemunha absoluta	0,14	Aa	0,14	Ea	0,20	Da	0,20	Fa	0,06	Ca	0,06	Ga
Ureia Granulada	0,11	Ba	0,25	Bb	0,83	Cb	0,90	Da	0,16	Aa	0,15	Ea
Super N	0,11	Ba	0,21	Cb	0,87	Bb	1,16	Ba	0,13	Bb	0,23	Ba
Sulfato Amônio	0,15	Aa	0,21	Cb	0,77	Cb	0,79	Ea	0,13	Ba	0,13	Fa
FH Nitro Gold	0,16	Aa	0,19	Db	0,84	Bb	0,83	Ea	0,15	Aa	0,14	Fa
Ureia-So Yara	0,10	Ba	0,22	Cb	0,85	Bb	1,15	Ba	0,12	Bb	0,21	Ca
Ureia Pastilhada	0,12	Ba	0,20	Db	0,78	Cb	1,07	Ca	0,11	Bb	0,15	Ea
Ureia-SH	0,11	Ba	0,22	Cb	0,88	Bb	1,24	Aa	0,12	Bb	0,25	Aa
Ureia-So	0,14	Aa	0,24	Bb	0,89	Bb	1,09	Ca	0,13	Bb	0,17	Da
Ureia-SHoB	0,12	Ba	0,18	Db	0,98	Ab	1,05	Ca	0,14	Aa	0,16	Da
Ureia-SoB	0,13	Aa	0,27	Ab	0,90	Bb	0,81	Ea	0,15	Ab	0,22	Ba
Ureia-B	0,13	Aa	0,19	Db	0,76	Cb	1,15	Ba	0,12	Bb	0,20	Ca
CV (%)	9,33				6,17				10,76			

Médias seguidas da mesma letra *maiúscula na vertical e minúsculas na horizontal*, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Scott knott.

4.5.3 Nitrogênio mineral no solo

No solo o nitrogênio pode estar presente na forma orgânica ou inorgânica. A maior parte do N do solo está presente na forma orgânica, podendo ser mineralizado através da hidrólise enzimática promovida pelos microrganismos do solo (Camargo et. al. 1997; Tisdale et. al. 1993). Após mineralizado o N pode se apresenta na forma de nítrica (N-NO₃⁻) ou amoniacal (N-NH₄⁺), sendo essas as formas passíveis de serem absorvidas pelas plantas.

Analisando o nitrogênio mineral no solo (NH₄⁺ e NO₃⁻ + NO₂⁻) após 60 dias de cultivo com algodão, são apresentados na Tabela 9 os valores encontrados para os teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ + NO₂⁻ nos tratamentos referentes aos fertilizantes pastilhados e aos fertilizantes comerciais quando aplicadas as doses referentes a 50 e 100 kg N ha⁻¹ respectivamente.

Quando analisados os teores de amônio no solo (NH₄⁺), após 60 dias de cultivo com cultura de algodão e com aplicação da dose referente a 50 kg N ha⁻¹, observa-se que o tratamento referente ao fertilizante comercial sulfato de amônio apresentou o maior teor de NH₄⁺, diferindo significativamente dos demais tratamentos. O sulfato de amônio, em função de sua característica ácida, promove uma brusca queda no pH do solo inibindo o processo de nitrificação (Strong et al., 1997). Dessa forma o maior teor de NH₄⁺ apresentado pelo tratamento que recebeu sulfato de amônio, pode ser justificado em função da forma de N e da natureza que esse fertilizante apresenta, favorecendo a permanência do N na forma amoniacal. Sendo que ao mesmo tempo em que a aplicação de sulfato de amônio, em solo que recebeu calagem, pode elevar o teor de nitrato no solo, por outro lado a própria reação causada pela aplicação do sulfato ao solo, em função do pH apresentado inicialmente, pode favorecer a

permanência do N na forma amoniacal com a inibição do processo de nitrificação (Rosolem et al., 2003). Os tratamentos que receberam o fertilizante FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar), e o pastilhado ureia-SoB (ureia + enxofre elementar na presença de bentonita), não apresentaram diferenças significativas entre si e foram significativamente superiores aos demais tratamentos, porém inferiores ao sulfato de amônio. No entanto, os demais tratamentos referentes tanto aos fertilizantes comerciais (ureia granulada, super N, ureia-So Yara como também a ureia pastilhada) como também aos pastilhados (ureia-B, ureia-SHoB, ureia-So e ureia-SH), mostraram-se semelhantes entre si e não diferiram da testemunha absoluta (sem N). O teor de amônio no solo apresentado pela testemunha absoluta (sem N) semelhante a esses tratamentos que receberam fertilizantes, corroboram os resultados encontrados por Rosolem et al. (1991), de que a realização de calagem, mesmo que sem incorporação, favorece ao processo de mineralização do nitrogênio, aumentando o aproveitamento desse nutriente pelo algodoeiro. Pois, o teor de NH_4^+ encontrado no solo do tratamento testemunha (sem N) é proveniente somente do N mineralizado da matéria orgânica do solo.

Analisando os teores de amônio (NH_4^+) no solo quando aplicado a dose referente a 100 kg N ha^{-1} , observa-se que tratamento referente ao fertilizante pastilhado sulfato de amônio conferiu o maior teor de desta forma de N no solo (NH_4^+), diferindo dos demais tratamentos. Esse resultado certamente pode ser atribuído em função do N proveniente desse fertilizante se apresentar na forma amoniacal e em função da natureza ácida conferida por esse fertilizante, uma vez que a acidificação do solo na região de aplicação poderia estar garantindo a permanência do N na forma amoniacal, pois de acordo com Adams & Martin (1984) a acidez inibe a conversão do N a nitrato no solo quando realizada a aplicação de amônio.

O tratamento referente ao pastilhado ureia-SoB apresentou o maior teor de amônio (NH_4^+) entre os pastilhados. Este fertilizante, oriundo da associação de ureia com enxofre elementar e bentonita, foi significativamente inferior ao sulfato de amônio, mas foi superior aos demais fertilizantes nitrogenados. Seguido por este pastilhado, os fertilizantes comerciais FH Nitro Gold e ureia granulada, assim como a ureia pastilhada (efeito do tamanho da pastilha) e o pastilhado de ureia com sulfato de amônio (ureia-SH), diferiram entre si e entre os demais tratamentos. Os menores teores de NH_4^+ , entre os tratamentos que receberam adição de fertilizantes, foram observados para os tratamentos que receberam os pastilhados ureia-So (ureia + enxofre elementar) e ureia-SHoB (ureia + sulfato de amônio, enxofre elementar na presença de bentonita), sendo que estes pastilhados não diferiram entre si, e mostraram-se significativamente superiores ao tratamento referente ao fertilizante comercial contendo inibidor da urease (super N).

Quando comparados os teores de NH_4^+ entre as duas doses de N aplicadas (50 e 100 kg ha^{-1}), observa-se que os resultados foram significativamente superiores em todos os tratamentos, quando aplicada dose de N referente à aplicação de 100 kg ha^{-1} .

Rosolem et al.(2003) em experimento com algodão em casa de vegetação, observaram o aumento dos teores de N amoniacal nas camadas mais superficiais do solo (0-10 cm) que recebeu calcário incorporado a medida que se aumentou a dose de N aplicada em cobertura, sendo que em profundidades superiores a 10 cm os teores de amônio decresceram com o aumento da dose de N aplicada, observando um aumento para os teores de nitrato seguindo padrão de elevação do pH. Estes autores observaram também a elevação dos teores de amônio no solo em maiores profundidades, com o incremento da dose de N aplicado em cobertura, quando o solo não recebeu calagem. Uma vez que a acidez inibe a nitrificação (Adam e Martin, 1984).

Analisando os teores de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ no solo após aplicação dos diferentes fertilizantes nitrogenados, verifica-se na tabela 10, que quando foi utilizada a dose referente a

50 kg N ha⁻¹, não houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que os maiores teores dessa forma de N foram conferidos pelo fertilizante pastilhado ureia-SoB (ureia + enxofre elementar com bentonita) e pelo fertilizante comercial FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar). Os teores de nitrato mais nitrito (NO₃⁻ + NO₂⁻) encontrados nos tratamentos que receberam fertilizantes foram semelhantes entre si, não diferindo também da testemunha absoluta (sem aplicação N).

Para aplicação da dose referente a 100 kg N ha⁻¹, o maior teor de NO₃⁻ + NO₂⁻ no solo foi conferido pelo tratamento que recebeu o fertilizante pastilhado ureia-SoB (ureia + enxofre com bentonita) que diferiu estatisticamente entre os tratamentos. O tratamento que recebeu o fertilizante comercial FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar) apresentou teor de NO₃⁻ + NO₂⁻ superior aos demais tratamentos, mostrando-se inferior apenas ao pastilhado ureia-SoB. Observa-se que os dois tratamentos, que apresentaram os maiores teores de nitrato no solo, possuem enxofre elementar em sua composição. Porém em diferentes formas de adição deste elemento (S) ao fertilizante. Sendo que para o FH Nitro Gold o enxofre é encontrado revestindo o grânulo enquanto para a ureia-SoB é incorporado a pastilha e ainda na presença de bentonita. Esses fertilizantes diferiram entre si, contudo, foram significativamente superiores aos demais tratamentos para os teores de nitrato no solo. Esses resultados podem ter ocorrido uma vez que estes fertilizantes apresentando enxofre elementar na forma de revestimento (FH Nitro Gold) e enxofre elementar na presença de bentonita (ureia-SoB) podem ter conferido uma menor acidificação ao solo e conseqüentemente ocorrendo maior taxa de nitrificação do N aplicado, em comparação aos demais tratamentos.

Os tratamentos contendo os fertilizantes pastilhados ureia-B, ureia-SHoB e ureia-So apresentaram teores de nitrato no solo semelhantes aos encontrados para os fertilizantes comerciais super N e ureia granulada. O fertilizante pastilhado ureia com sulfato de amônio (ureia-SH) apresentou teores de nitrato no solo semelhantes ao fertilizante comercial ureia-So Yara (ureia pastilhada com enxofre elementar) e ao tratamento que isolou o efeito do tamanho da pastilha (ureia pastilhada).

O sulfato de amônio foi estatisticamente inferior a todos os tratamentos, inclusive a testemunha absoluta (sem aplicação de N), quanto aos teores de NO₃⁻ + NO₂⁻ no solo para a aplicação da dose correspondente a 100 kg N ha⁻¹. O resultado apresentado por este tratamento pode ser explicado em função de uma maior acidificação conferida com aplicação deste fertilizante na referida dose (100 kg ha⁻¹), uma vez que com valores de pH em água abaixo de 6,0 a nitrificação decresce e se torna insignificante quando valores de pH em água abaixo de 4,5 (Adam e Martin, 1984).

Comparando os teores de NO₃⁻ + NO₂⁻ encontrados no solo, quando se aplicou os diferentes fertilizantes nitrogenados, observa-se que os teores para essa forma de N encontrados com a aplicação da dose correspondente a 100 kg N ha⁻¹ foram superiores aos encontrados para a dose correspondente a 50 kg N ha⁻¹ em todos os tratamentos, exceto para o tratamento testemunha absoluta (sem N).

Tabela 9: Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato + nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) no solo 60 dias após o plantio do Algodão Cultivar BRS 293 com a aplicação de doses referente a 50 e 100 kg N ha⁻¹ a partir de diferentes fertilizantes nitrogenados.

Fertilizantes	NH_4^+ (mg kg ⁻¹)				$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (mg kg ⁻¹)			
	Dose 50 kg/ha		Dose 100 kg/ha		Dose 50 kg/ha		Dose 100 kg/ha	
Testemunha absoluta	5,43	Ca	5,43	Ja	5,57	Aa	5,57	Ea
Ureia Granulada	4,50	Cb	128,68	Da	3,20	Ab	17,75	Ca
Super N	4,53	Cb	83,32	Ha	3,79	Ab	17,02	Ca
Sulfato Amônio	24,21	Ab	198,61	Aa	3,70	Ab	0,00	Fa
FH Nitro Gold	13,81	Bb	133,22	Ca	7,69	Ab	22,22	Ba
Ureia-So Yara	5,69	Cb	63,06	Ia	4,41	Ab	14,19	Da
Ureia Pastilhada	3,55	Cb	121,59	Ea	2,89	Ab	13,39	Da
Ureia-SH	4,53	Cb	108,75	Fa	5,69	Ab	13,92	Da
Ureia-So	1,75	Cb	101,56	Ga	4,85	Ab	16,25	Ca
Ureia-SHoB	5,38	Cb	97,34	Ga	4,72	Ab	16,56	Ca
Ureia-SoB	14,23	Bb	140,57	Ba	9,28	Ab	46,34	Aa
Ureia-B	7,56	Cb	112,4	Fa	3,11	Ab	15,87	Ca
CV (%)	8,68				24,36			

Médias seguidas da mesma letra *maiúscula na vertical e minúsculas na horizontal*, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Scott knott.

4.6 CONCLUSÕES

- i. O fertilizante pastilhado resultante da mistura de ureia com sulfato de amônio e o pastilhado resultante da associação entre essas duas fontes de N (ureia + sulfato) com enxofre elementar na presença de bentonita (ureia-SH e ureia-SHoB respectivamente) apresentaram efeitos positivos no desenvolvimento das plantas de algodão para ambas as doses de N utilizadas, sendo os resultados apresentados por estes pastilhados semelhantes e em alguns casos significativamente superiores aos fertilizantes comerciais.
- ii. O pastilhamento de ureia com sulfato de amônio, enxofre elementar e bentonita resultou em maior acúmulo de nitrogênio nas plantas de algodão, quando aplicado a menor dose de N (50 kg ha^{-1}), apresentando-se significativamente superior aos demais fertilizantes pastilhados e comerciais.
- iii. A ureia pastilhada com enxofre elementar e bentonita (ureia-SoB) conferiu o maior teor de nitrogênio amoniacal no solo, dentre os tratamentos com os demais pastilhados, ao final do período de cultivo (60 dias) para ambas as doses de N (50 e 100 kg ha^{-1}), sendo este resultado inferior ao apresentado pelo fertilizante comercial sulfato de amônio, semelhante ao fertilizante comercial de ureia revestida com enxofre elementar (FH Nitro Gold), e estatisticamente superior aos demais fertilizantes comerciais quando aplicada a menor dose de N (50 kg ha^{-1}). E na maior dose de N (100 kg ha^{-1}), inferior somente ao sulfato de amônio e significativamente superior aos demais tratamentos, quanto aos teores de amônio no solo. Apresentando ainda, para esta maior dose de N aplicada, o maior teor de nitrato no solo ao final do período de cultivo das plantas (60 dias), mostrando-se estatisticamente superior aos demais tratamentos, quanto aos teores de nitrato no solo.

5 CAPÍTULO III

AVALIAÇÃO DE FONTES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS QUANTO AO FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO PARA A CULTURA DO MILHO (*Zea mayz*)

5.1 RESUMO

Com o objetivo de estudar e avaliar a eficiência de diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados em fornecer nitrogênio para a cultura do milho foram realizados dois experimentos em casa de vegetação, com condições controladas de temperatura e umidade, localizadas na área experimental do Departamento de Solos da UFRRJ. Foi utilizado um solo de textura arenosa, proveniente do horizonte A de um Planossolo Háplico. O solo foi incubado com a finalidade de elevar o pH para 6,5. Os experimentos foram instalados em épocas distintas, ambos, seguiram o delineamento inteiramente casualizado, em que cada um deles apresentou esquema fatorial 11 x 3. Os fatores avaliados foram: cinco fertilizantes pastilhados, cinco fertilizantes comerciais, um fertilizante de ureia pura pastilhada, uma dose de N, três repetições e uma testemunha absoluta (sem N) com três repetições, resultando assim em 36 unidades experimentais. Nos dois experimentos os fertilizantes foram aplicados (incorporados) no momento do plantio da cultivar de milho BRS Sol da Manhã. Para o primeiro experimento utilizou-se a aplicação de uma dose referente a 50 kg N ha⁻¹ para cada um dos fertilizantes nitrogenados. Já para o segundo experimento aplicou-se uma dose de N referente a 100 kg ha⁻¹. Foram aplicados também no momento do plantio uma dose referente a 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato triplo (46% P₂O₅) e 40 kg K₂O ha⁻¹ na forma de cloreto de potássio. A fim de avaliar a disponibilidade de nitrogênio adicionado ao solo nos tratamentos, em cada um dos experimentos, foram utilizadas duas plantas por vaso em ensaio de curto período de tempo e pequeno volume de solo. O primeiro experimento (com aplicação 50 kg N ha⁻¹) teve duração de 60 dias e o segundo (com aplicação de 100 kg N ha⁻¹) duração de 30 dias. Ao final do respectivo período de cultivo, em cada experimento, foram avaliados os parâmetros fenológicos (altura da planta, massa seca de parte aérea e massa seca de raiz), o acúmulo de nitrogênio na massa seca de parte aérea, acúmulo de nitrogênio na massa seca de raízes, o teor de nitrogênio total no solo e as formas de N presente. A associação de diferentes fontes de N (sulfato de amônio e ureia) na presença e/ou ausência de enxofre elementar e bentonita na mesma pastilha do fertilizante resultou em maior desenvolvimento e crescimento das plantas de milho, uma vez que, os pastilhados ureia-SH e ureia-SHoB apresentaram os melhores resultados para ambas as doses de N utilizadas (50 e 100 kg ha⁻¹). Em relação aos teores de N no solo, como também das suas formas (amônio e nitrato + nitrito), o pastilhado ureia-SH contendo duas fontes de N (ureia + sulfato de amônio) e os pastilhados de ureia com enxofre elementar com e sem bentonita (ureia-So e ureia-SoB) proporcionaram as plantas uma maior disponibilidade de N. Quanto ao efeito dos fertilizantes pastilhados no desenvolvimento das plantas de milho, todos os pastilhados de ureia apresentaram resultados satisfatórios, principalmente quando utilizada a menor dose de N (50 kg ha⁻¹) no plantio, já que estes produtos não apresentaram diferenças acentuadas em relação aos fertilizantes comerciais, especialmente, quando houve associação de duas fontes de N (ureia e sulfato de amônio) e a associação destes com enxofre elementar na presença de bentonita, onde os pastilhados ureia-SH e ureia-SHoB resultaram em maiores acúmulos de N na planta.

Palavras-chave: Fertilizante pastilhado. Enxofre elementar. Nitrogênio e enxofre. Milho.

5.2 ABSTRACT

With the purpose of studying and evaluating the efficiency of different sources of nitrogen fertilizers in supplying nitrogen to corn crop, two experiments were carried out, in greenhouse under controlled temperature and humidity, located in the experimental area of the Soils Department of the UFRRJ. Sandy-textured material from the A horizon of a Fragiudult soil was used. The material was incubated to raise pH to 6.5. The experiments were set up at distinct times; both followed the completely randomized design, in which each of them presented a factorial scheme 11 x 3. The factors evaluated were: five pelletized fertilizers, five commercial fertilizers, a pelletized pure urea fertilizer, a dose of N, three replications and a absolute control (without N) with three replications, resulting thus into 36 experimental units. In the two experiments, the fertilizers were applied (incorporated) at the moment of planting of the corn cultivar BRS Sol da Manhã. For the first experiment, the application of a dose concerning 50 kg N ha⁻¹ for each of the nitrogen fertilizers was utilized. But for the second experiment, a dose of N concerning 100 kg ha⁻¹ was applied. Also at the moment of planting, a dose concerning 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ as triple superphosphate (46% P₂O₅) and 40 kg K₂O ha⁻¹ as potassium chloride was applied. In order to evaluate the availability of nitrogen added to soil in the treatments, in each of the experiments, two plants per pot in short time period assay and small volume of soil were utilized. The first experiment (with application of 50 kg N ha⁻¹) lasted 60 days and the second (with application of 100 kg N ha⁻¹) lasted 30 days. At the end of the respective cropping period, in each experiment, the phenological parameters were evaluated (plant height, shoot dry mass and root dry mass), the N accumulation in the shoot dry mass, accumulation of nitrogen in the root dry mass, the content of total soil nitrogen and the forms of N present. The association of different sources of N (ammonium sulfate and urea) in the presence and/or absence of elementary sulfur and bentonite in the same fertilizer pellet resulted into greater development and growth of the corn plants, since the urea-SH and urea-SHoB pellets presented the best results for both the doses of N utilized (50 and 100 kg ha⁻¹). In relation to the soil N contents as well as its forms (ammonium + nitrate), the urea-SH pellet containing two sources of N (urea + ammonium sulfate) and the urea pellets with elementary sulfur with and without bentonite (urea-So and urea-SoB) provided the plants with a greater N availability. As to the effect of pelletized fertilizers on the development of the corn plants, all the urea pellets presented satisfactory results, mainly when the smallest dose of N (50 kg ha⁻¹) at planting, since these products presented no marked differences in relation to the commercial fertilizers, specially when there was an association of two sources of N (urea and ammonium sulfate) and the association of these with elementary sulfur in the presence of bentonite, where the urea-SH and urea-SHoB pellets resulted into greater N accumulations in the plant.

Key words: Pelletized fertilizer. Elementary sulfur. Nitrogen and sulfur. Corn.

5.3 INTRODUÇÃO

A ureia é considerada a principal fonte de nitrogênio no mundo, e no Brasil é responsável por 60% do N utilizado como fertilizante (Cantarella & Marcelino, 2006). De todo fertilizante nitrogenado consumido no País, 75% são oriundos de importações, sendo que a cada ano, com a expansão das fronteiras agrícolas, o consumo de fertilizantes nitrogenados tende a crescer, contribuindo para que o mercado brasileiro de fertilizantes nitrogenados se torne ainda mais dependente das importações.

O novo modelo de agricultura garantiu o aumento da oferta de alimentos nas últimas cinco décadas, sendo essa maior oferta de alimentos resultante de intensivos sistemas de produção com o indispensável uso de fertilizantes, principalmente de N. O que deixa claro que o aumento da produção de alimentos está diretamente ligado ao uso de fertilizantes, principalmente os nitrogenados.

Com base nesse quadro torna-se um desafio para a agricultura brasileira alcançar o aumento potencial da produtividade e em contra partida reduzir as perdas de nutrientes nos sistemas agrícolas.

Dessa forma torna-se cada vez mais necessário a criação de novos projetos de pesquisa, que visem aumentar a produção de fertilizantes no país e o desenvolvimento de tecnologias voltadas para a obtenção do aumento da eficiência dos fertilizantes nitrogenados, uma vez que a demanda pelos fertilizantes nitrogenados tende a aumentar.

Para a cultura do milho a adubação nitrogenada tem grande influência na produtividade de grãos, uma vez que o N é o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura (Amado et al., 2002; Cantarella & Duarte, 2004; Souza & Lobato 2004).

Uma vez as condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da cultura aliadas a otimização da produção de grãos, a quantidade de nitrogênio demandada pela cultura do milho pode ultrapassar 150 kg ha^{-1} , dessa forma torna-se necessário a utilização de fertilizantes nitrogenados visando o fornecimento de N para a cultura e a reposição desse nutriente ao solo (Amado et al. 2002).

Diante da importância da fertilização nitrogenada para as culturas e visando aumento de produtividade em função de um maior aproveitamento dos fertilizantes aplicados, torna-se necessário a utilização de fontes nitrogenadas mais eficientes em fornecer N para as culturas.

Sendo assim, o objetivo deste capítulo foi avaliar o efeito de diferentes fertilizantes pastilhados NS, com diferentes fontes de enxofre, em comparação a fertilizantes nitrogenados comerciais, quanto à eficiência do fornecimento de N para a cultura do milho, analisando os parâmetros fenológicos da cultura, N total na parte aérea, na raiz e no solo e os teores de nitrato e amônio no solo, em função dos teores de N e S contidos nos fertilizantes utilizados e das fontes de enxofre empregadas.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação climatizada (Figura 1) localizada na área experimental do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. O solo utilizado para este experimento foi o mesmo utilizado para o primeiro e o segundo experimento (Capítulo I e Capítulo II), cuja descrição se apresenta no item 3.4.2. do Capítulo I, referente ao horizonte A de um Planossolo Háplico, cujas características químicas e físicas foram descritas na Tabela 1 e Tabela 2.

Os fertilizantes utilizados neste experimento foram os mesmos utilizados nos ensaios experimentais com a cultura da cana-de-açúcar e com o algodão descritos no Capítulo I e Capítulo II respectivamente, cuja caracterização química desses fertilizantes está descrita no item 3.4.3 Tabela 3.

5.4.1 Condução do experimento

Foram conduzidos dois experimentos em épocas distintas com a cultura do milho. O primeiro foi conduzido no período compreendido entre os dias 26/07/2011 a 23/09/2011 resultando em 60 dias de cultivo. E o segundo foi implantado entre os dias 02/11/2011 e 02/12/2011 compreendendo 30 dias de cultivo.

A finalidade desses experimentos, assim como nos experimentos descritos nos Capítulos I e II, foi avaliar cinco fertilizantes pastilhados NS em comparação a cinco fertilizantes comerciais e uma testemunha para avaliar o efeito do tamanho da pastilha (ureia pastilhada). Sendo os pastilhados preparados a partir das respectivas matérias primas: ureia fertilizante (45% N), sulfato de amônio (21% N e 24% S), enxofre elementar (95% S) e bentonita (composto de argila expansiva). Esses fertilizantes pastilhados foram comparados aos fertilizantes comerciais em um solo de textura arenosa avaliando o desenvolvimento de mudas de cana, onde os fertilizantes comerciais serviram como testemunha para fins de comparação com os pastilhados.

Em cada experimento o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com esquema fatorial 11 x 3, onde os fatores estudados foram cinco fertilizantes pastilhados, cinco fertilizantes comerciais, um fertilizante de ureia pura pastilhada, três repetições, uma testemunha absoluta (sem N) com três repetições e uma dose de N utilizada, resultando assim em 36 unidades experimentais.

Os fertilizantes foram aplicados no momento do plantio da cultivar de milho BRS Sol da manhã, para cada um dos experimentos.

Para o primeiro experimento, com duração de 60 dias, foi feita adubação referente à aplicação de uma dose 50 kg N ha⁻¹ com os diferentes fertilizantes nitrogenados. E para o segundo experimento, com duração de 30 dias, foi aplicada a dose referente a 100 kg N ha⁻¹ para os diferentes fertilizantes nitrogenados. Essas doses foram aplicadas todas em plantio com a finalidade de testar a eficiência dos fertilizantes em fornecer de N para as plantas, quando aplicados em grandes quantidades.

5.4.2 Cultivar de milho

Foi utilizada para condução do experimento a variedade de milho (*Zea mays*) BRS Sol da manhã. Esta variedade é o resultado de um trabalho de pesquisa participativo e integrado entre a Embrapa Agrobiologia, Embrapa Milho e Sorgo e de outras instituições que também participaram no desenvolvimento e caracterização dessa variedade. O BRS Sol da manhã é

uma variedade de ciclo precoce que se adapta bem a solos de baixa fertilidade natural e bastante responsiva a adubação nitrogenada.

5.4.3 Procedimentos experimentais

5.4.3.1 Incubação do solo

O solo utilizado neste ensaio foi incubado com doses crescente de carbonato de cálcio a fim de obter a elevação do pH a 6,5, adotando-se as doses e o período de incubação previamente determinados para este solo (Stafanato, 2009), conforme descrito no item 3.4.6.1 correspondente a Material e Métodos do Capítulo I.

5.4.3.2 Implantação do experimento

Os experimentos foram implantados em vasos plásticos com área de 0,033 m² onde foram adicionados 5 kg de material de solo (textura arenosa) previamente peneirado em malha 4 mm. O solo teve a umidade mantida em 70% da capacidade de campo, durante o experimento, com aplicação de uma lâmina de água diariamente, determinada através da pesagem dos vasos, onde a diferença de peso apresentada com relação ao peso do vaso inicialmente saturado a 70% correspondia à quantidade de água a ser adicionada, sendo esta aplicada com o uso de proveta graduada.

Os fertilizantes foram aplicados, para cada tratamento, sendo incorporado abaixo da camada superficial dos primeiros 5 centímetros de solo do vaso. Primeiramente a camada superficial foi retirada e acondicionada em outro vaso, e em seguida o restante de solo do vaso foi colocado em balde maior para que pudesse receber o fertilizante e ser homogeneizado posteriormente. O solo após ter sido homogeneizado ao fertilizante retornou ao vaso, assim como também o solo retirado dos primeiros 5 centímetros que retornou para a parte superficial do vaso, para que então fosse realizado o plantio das mudas de cana. Foram aplicados (incorporados) também no momento do plantio 80 kg P₂O₅ na forma de superfosfato triplo (46% P₂O₅) e 40 kg K₂O na forma de cloreto de potássio recomendados de acordo com o Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro (De- Polli et al, 1988).

Para cada um dos experimentos foram plantadas 10 sementes de milho da cultivar BRS Sol da manhã para cada vaso. Sendo feito desbaste cinco dias após a emergência deixando apenas duas plantas por vaso. Os vasos foram dispostos em arranjo inteiramente ao acaso dentro da casa de vegetação, mantidos por um período de 60 dias para o primeiro experimento e 30 dias para o segundo experimento. Com a finalidade de avaliar a disponibilidade de nitrogênio adicionado ao solo em cada tratamento, foram utilizadas duas plantas por vaso em ensaio de curto período de tempo e pequeno volume de solo. Este foi o mesmo objetivo de ensaio proposto por Neubauer & Schneider (1923), onde usando uma alta relação planta/solo é possível obter rápida exploração do volume de solo pelas raízes e absorção de nutrientes disponíveis em um curto período de crescimento, possibilitando identificar mudanças nas concentrações de elementos.

5.4.3.3 Análises químicas e de parâmetros fenológicos para cultura do milho

Em cada um dos experimentos com a cultura do milho as plantas tiveram um período de cultivo diferente. Para o experimento onde se aplicou 50 kg N ha⁻¹ as plantas foram cultivadas por um período de 60 dias. E para o experimento com aplicação de 100 kg N ha⁻¹ as plantas foram cultivadas por um período de 30 dias. A umidade do solo foi mantida a 70% da sua capacidade de campo para os dois experimentos, sendo coletadas ao final do respectivo período de cultivo (30 e 60 dias) para cada experimento com realização das seguintes análises:

- Parâmetros fenológicos: altura da planta, massa seca total de parte aérea e massa seca total de raízes.
- Teor e conteúdo de N total: no solo, na parte aérea e na raiz.
- Teores de N mineral no solo: N-NH_4^+ e $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$

A determinação da altura da planta (cm) foi feita com o auxílio de uma fita métrica através da medida da base da planta até a ponta da última folha completamente desenvolvida totalmente esticada. Posterior a este procedimento as plantas tiveram sua parte aérea (folha+colmo) coletadas e foram levadas para estufa de circulação forçada de ar a 65°C, onde foram secadas até atingirem peso constante, sendo a massa seca (g) determinada em balança de duas casas decimais. Após secas e pesadas, a parte aérea das plantas foram trituradas em moinho tipo Willey e determinados os teores de N total de acordo com TEDESCO (1995).

Após coletada a parte aérea das plantas, o vaso contendo o solo onde as plantas se desenvolveram foi dividido em duas partes iguais. Uma das partes foi destinada para as análises de N mineral (NH_4^+ e $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) e N total. Esta parte do solo foi homogeneizada e posteriormente retirado um volume de solo conhecido, contendo a umidade do momento de coleta, para analisar os teores de N mineral e o restante do solo foi seco e destorroado para determinação dos teores de N total. A outra metade do solo do vaso foi lavada para que se pudesse coletar as raízes da plantas com auxílio de peneira de 2 mm pelo processo de flotação-decantação.

As raízes coletadas em uma das metades do vaso foram secas em estufa de circulação forçada a 65° C até atingirem peso constante e posteriormente pesadas para determinação de massa seca em balança de duas casas decimais. Após secas e pesadas às raízes foram moídas em moinho tipo Willey para determinação dos teores de N total nas mesmas.

5.4.3.4 Análises estatística

A análise dos dados foi feita utilizando-se o programa SAEG. Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificar as pressuposições de normalidade e homogeneidade dos erros respectivamente. E realizado o teste F para análise de variância, e o teste de Scott Knott a 5% de probabilidade para teste de médias.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.5.1 Ensaio com a cultura do milho com aplicação de 50 kg N ha⁻¹

5.5.1.1 Parâmetros fenológicos

Os parâmetros fenológicos (altura de planta, massa seca total de parte aérea e massa seca total de raiz) analisados para cultivar de milho BRS Sol da Manhã, após 60 dias de cultivo com aplicação de 50 kg N ha⁻¹ proveniente de diferentes fertilizantes nitrogenados, são apresentadas na Tabela 10.

Verifica-se que quanto ao parâmetro fenológico analisado, altura da planta, que os tratamentos diferiram entre si pelo teste de Skott Knott a 5%. Entre os tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais somente o tratamento referente ao sulfato de amônio apresentou diferença significativa. Este tratamento apresentou resultado inferior aos demais fertilizantes comerciais para a altura das plantas de milho, mas foi semelhante aos tratamentos referentes aos fertilizantes pastilhados ureia-So, ureia-SHoB, ureia-SoB e ureia-B. Os demais fertilizantes comerciais (ureia granulada, super N, FH Nitro Gold, ureia-So Yara), assim como o tratamento que recebeu ureia pastilhada (objetivo de eliminar efeito tamanho pastilha) não diferiram entre si. Contudo, esses tratamentos apresentaram-se significativamente superiores aos demais tratamentos. O tratamento que recebeu o fertilizante pastilhado ureia-SH (ureia + sulfato de amônio) apresentou o melhor resultado dentre os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados, para o parâmetro fenológico analisado altura da planta.

De maneira geral os fertilizantes comerciais, com exceção do sulfato de amônio, apresentaram-se significativamente superiores aos pastilhados contendo enxofre elementar e bentonita em sua composição (ureia-So, ureia-SHoB, ureia-SoB e ureia-B). O tratamento referente à testemunha absoluta (sem de N) apresentou resultado inferior a todos os tratamentos que receberam os diferentes fertilizantes nitrogenados, conferindo menor altura de planta.

Avaliando os resultados de massa seca total de parte aérea, nas plantas de milho coletadas após 60 dias do plantio (tabela 10), observa-se que o tratamento referente ao fertilizante comercial ureia granulada não diferiu dos tratamentos que receberam os pastilhados apresentando enxofre proveniente do sulfato de amônio em sua composição (ureia-SH e ureia-SHoB), sendo que estes tratamentos apresentaram os maiores acúmulos de massa seca entre todos os tratamentos. Os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados de ureia, cuja composição possuía somente enxofre elementar e/ou bentonita (ureia-So, ureia-SoB e ureia-B), não apresentaram diferenças significativas entre si, e foram semelhantes ao fertilizante comercial referente à ureia pastilhada com enxofre elementar da Yara (ureia-So Yara). Sendo que todos os pastilhados de ureia foram superiores aos tratamentos referentes aos fertilizantes comerciais Super N (contém inibidor de urease), sulfato de amônio, FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar) e a ureia pastilhada (efeito do tamanho da pastilha). Mas certamente se o tempo em que o experimento transcorreu fosse prolongado, às diferenças para o acúmulo de massa seca da parte aérea entre os tratamentos poderia ter sido ainda mais pronunciadas.

Comparando o acúmulo de massa seca de raiz para as plantas de milho, após a aplicação dos diferentes fertilizantes nitrogenados, é possível observar (Tabela 10) que o tratamento que recebeu o fertilizante comercial FH Nitro Gold e o que recebeu ureia pastilhada (objetivo de avaliar efeito tamanho da pastilha) não diferiram entre si e foram superiores aos demais tratamentos.

Os melhores resultados entre os pastilhados foram conferidos pela aplicação da ureia-SH, ureia-So e ureia-SoB que possuem o mesmo teor de enxofre (7,2%), cujas fontes de enxofre são o sulfato de amônio, enxofre elementar e enxofre elementar associado à bentonita respectivamente, não apresentando diferenças significativas entre si. Esses mesmos tratamentos também apresentaram resultados semelhantes ao tratamento que recebeu o fertilizante comercial ureia-So Yara (ureia revestida com enxofre elementar), sendo que esse possui maior concentração de enxofre elementar em sua composição (9,2%). A semelhança entre o resultado apresentado por esses tratamentos (ureia-SH, ureia-So e ureia-SoB) com o tratamento que recebeu a ureia-So Yara, mais concentrada em enxofre (9,2%), possivelmente pode ser em função da forma (pastilhada) dos fertilizantes aplicados. Uma vez que a forma de pastilha pode influenciar na liberação do N contido no fertilizante, em função da pastilha apresentar uma menor área específica. Pois ao comparar o tratamento que recebeu ureia pura pastilhada e o que recebeu ureia granulada, vemos que o produto na forma pastilhada apresentou resultado superior ao granulada.

O tratamento referente ao fertilizante pastilhado ureia-SHoB, resultante da associação de diferentes fontes de enxofre (sulfato de amônio e enxofre elementar mais bentonita), e a ureia-B correspondente a bentonita isolada no pastilhado de ureia, não diferiram entre si e mostraram-se semelhantes ao tratamento ureia granulada. Os fertilizantes comerciais Super N e sulfato de amônio resultaram nos menores acúmulos de massa seca de raízes, porém, estes assim como os demais tratamentos que receberam fertilizantes nitrogenados, foram superiores significativamente ao tratamento referente a testemunha absoluta (sem N).

Tabela 10: Características fenológicas da Cultivar de Milho BRS Sol da Manhã 60 dias após o plantio com aplicação de dose referente a 50 kg ha⁻¹ a partir dos diferentes fertilizantes nitrogenados.

Tratamentos	Altura da Planta (cm)	Massa Seca Parte de Aérea (g/vaso)	Massa Seca de Raiz (g/vaso)
Testemunha absoluta	86,4 C	38,24 E	11,93 E
Ureia granulada	145,9 A	76,70 A	18,60 C
Super N	140,9 A	63,40 D	17,40 D
Sulfato de amônio	129,4 B	66,10 D	15,00 D
FH Nitro Gold	138,0 A	69,61 C	24,58 A
Ureia-So Yara	137,6 A	72,20 B	21,80 B
Ureia Pastilhada	141,0 A	67,84 C	25,09 A
Ureia-SH	135,8 A	76,40 A	22,40 B
Ureia-So	126,5 B	71,95 B	22,06 B
Ureia-SHoB	130,8 B	75,70 A	19,80 C
Ureia-SoB	129,6 B	72,30 B	21,10 B
Ureia-B	122,4 B	72,40 B	20,40 C
CV (%)	3,88	3,53	7,47

Médias seguidas da mesma letra *maiúscula vertical*, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Scott knott.

5.5.1.2 Nitrogênio total no solo, parte aérea e na raiz

O aproveitamento do nitrogênio dos fertilizantes nitrogenados aplicados às culturas é relativamente baixo. Esse aproveitamento pode variar em função de uma série de fatores, sendo a natureza do fertilizante um importante fator a considerar quando avaliamos sua eficiência. Vários trabalhos evidenciam que fertilizantes nitrogenados de natureza ácida apresentam menores perdas por volatilização proporcionando maior disponibilidade para as culturas. De acordo com Villas Boas et al. 2005, são poucos os trabalhos que avaliam os efeitos de misturas de fertilizantes com características ácidas, em relação ao aproveitamento do N aplicado pelos diferentes órgãos da cultura do milho.

Na Tabela 11 são apresentados os resultados encontrados para os teores de nitrogênio total no solo, nitrogênio total acumulado na parte aérea e nitrogênio total acumulado na raiz em plantas de milho após 60 dias de cultivo em casa de vegetação com a aplicação de dose referente a 50 kg N ha^{-1} , através de diferentes fertilizantes nitrogenados.

Avaliando os teores de N total no solo observa-se que todos os tratamentos diferiram significativamente entre si. O maior teor de N total no solo foi resultante da aplicação do fertilizante comercial sulfato de amônio, sendo que este tratamento apresentou resultado estatisticamente superior aos demais tratamentos. Esse maior efeito residual apresentado pelo tratamento que recebeu o fertilizante sulfato de amônio, possivelmente pode ser em função de o sulfato ser um fertilizante de natureza ácida não sofrendo perdas por volatilização do nitrogênio amoniacal em solos com pH inferior a 7 (Volk, 1959 citado por Villas Boas et al. 2005). Os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados ureia-SH e ureia-So, que possuem como fonte de enxofre sulfato de amônio e enxofre elementar respectivamente, apresentaram teores de N total no solo semelhante ao apresentado pelos fertilizantes comerciais ureia granulada e FH Nitro Gold (ureia granulada revestida com enxofre elementar), estes tratamentos não diferiram entre si e foram semelhantes à testemunha absoluta (sem aplicação N). Os teores residuais de N no solo encontrados para a testemunha foram superiores aos tratamentos com os fertilizantes super N, ureia-So Yara, ureia pura pastilhada, e aos pastilhados ureia-SHoB, ureia-SoB e ureia-B. Esses tratamentos que se apresentaram inferiores a testemunha (sem aplicação de N), possivelmente promoveram uma maior atividade microbiana do solo, em função de uma maior disponibilidade de N quando comparados aos demais fertilizantes, sendo que uma maior atividade microbiológica pode resultar em maior taxa de mineralização da matéria e conseqüentemente menor teor de N total no solo.

Os tratamentos referentes aos pastilhados de ureia contendo somente bentonita ou associada a uma ou mais fontes de enxofre (ureia-B, ureia-SHoB e ureia-SoB) apresentaram-se semelhantes entre si, não diferindo também da ureia pastilhada (efeito do tamanho da pastilha) quanto aos teores de N total no solo.

De forma geral, todos os tratamentos referentes aos fertilizantes pastilhados apresentaram-se significativamente superiores aos tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais Super N (inibidor da urease) e a ureia-So Yara (ureia pastilhada com enxofre elementar).

Quando analisado o nitrogênio total acumulado na parte aérea das plantas de milho (folha + colmo), após aplicação de 50 kg N ha^{-1} , observa-se que todos os tratamentos referentes aos fertilizantes nitrogenados foram significativamente superiores a testemunha absoluta (sem aplicação N). Porém não houve diferença estatística entre os produtos pastilhados testados, e estes foram semelhantes aos fertilizantes comerciais ureia granulada, sulfato de amônio e FH Nitro Gold. Estes tratamentos resultaram nos maiores acúmulos de N na parte aérea das plantas, e se mostraram significativamente superiores aos tratamentos com

os fertilizantes comerciais super N e Ureia-So Yara e a ureia pastilhada (efeito de tamanho da pastilha).

A ureia granulada mostrou-se superior aos tratamentos que receberam respectivamente os produtos comerciais super N, ureia-So Yara e ureia pura pastilhada.

Uma vez que a ureia, em função de sua natureza alcalina, tende a ocasionar maiores perdas por volatilização quando comparada a fertilizantes de natureza ácida, esse acúmulo de N na parte aérea, semelhante e ou até mesmo superior ao encontrado para os produtos de natureza ácida, não seria condizente com os resultados encontrados para o tratamento referente à ureia granulada. Esse resultado pode ser explicado de acordo com Cantarella (1993), justificando que embora a absorção de N pelo milho seja intensificada no período entre 40 e 60 DAE, a planta assimila 50 % do N que necessita após iniciar período de florescimento. Tendo sido as plantas coletadas aos 60 dias, quando ainda iniciavam o período de florescimento, pode ser que o período em que as plantas foram cultivadas (60 dias) não tenha sido suficiente para que elas apresentassem o seu máximo potencial de extração, diferenciando melhor o acúmulo de N na massa seca em função dos tratamentos empregados.

Considerando o acúmulo de nitrogênio na massa seca de raiz das plantas de milho após a aplicação de 50 kg N ha⁻¹ dos diferentes fertilizantes nitrogenados, observa-se (Tabela 11) que o maior acúmulo de N na raiz entre os fertilizantes pastilhados foi apresentado pelo tratamento que recebeu o fertilizante pastilhado ureia-B (ureia + bentonita), contudo esse tratamento apresentou-se semelhante ao tratamento com o fertilizante comercial FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar) e ao tratamento cujo objetivo é isolar o efeito do tamanho da pastilha (ureia pastilhada), no entanto estes tratamentos foram semelhantes entre si e superiores aos demais. O fertilizante pastilhado ureia com bentonita apresentou um resultado positivo, podendo este resultado ser em função do efeito da bentonita, uma vez que a bentonita quando em contato com a umidade do solo, pode ter seu volume aumentado em até 20 vezes, o que possivelmente pode ter acarretado em uma liberação mais lenta do N no solo, proporcionando uma disponibilidade deste nutriente para as plantas fazendo com que este nutriente por um período mais longo de tempo.

Para os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados ureia-So, ureia-SHoB, ureia-SoB (contendo enxofre elementar com ou sem sulfato de amônio e bentonita) o acúmulo de N nas raízes foram semelhantes ao apresentado pelo tratamento com o fertilizante comercial Super N (contendo inibidor de urease). A semelhança apresentada entre esses pastilhados pode estar associada ao fato destes fertilizantes apresentarem 7,2% de enxofre elementar incorporados ao produto em forma de pastilha. Pois, ao comparar os resultados de N acumulado na raiz para os tratamentos mencionados anteriormente com o resultado apresentado pelo tratamento com ureia-SH, que também é pastilhado, porém a única fonte de enxofre empregada é o sulfato de amônio, observamos que as misturas pastilhadas contendo enxofre elementar foram superiores.

O tratamento que recebeu ureia pastilhada com sulfato de amônio (ureia-SH) apresentou o menor acúmulo de N nas raízes das plantas dentre todos os pastilhados, contudo, foi significativamente semelhante ao fertilizante comercial ureia-So Yara (ureia pastilhada com enxofre elementar) e significativamente superior ao sulfato de amônio que apresentou o menor acúmulo de N nas raízes das plantas entre todos os tratamentos utilizados. Sendo o resultado apresentado pelo sulfato superior apenas ao tratamento referente à testemunha absoluta (sem N).

Tabela 11: Teores de N total no solo, nitrogênio total acumulado na massa seca de parte aérea e na massa seca de raiz para cultivar de milho BRS Sol da manhã 60 dias após o plantio com aplicação de dose referente a 50 kg N ha⁻¹ a partir de diferentes fertilizantes nitrogenados.

Tratamentos	Nitrogênio Total no Solo (g/kg)	Nitrogênio Acumulado na Parte Aérea (g/vaso)	Nitrogênio Acumulado na Raiz (g/vaso)
Testemunha absoluta	0,19 B	0,22 C	0,11 E
Ureia granulada	0,20 B	1,09 A	0,25 C
Super N	0,13 D	1,04 B	0,33 B
Sulfato de amônio	0,23 A	1,09 A	0,18 D
FH Nitro Gold	0,18 B	1,09 A	0,35 A
Ureia-So Yara	0,13 D	1,03 B	0,25 C
Ureia Pastilhada	0,17 C	0,99 B	0,35 A
Ureia-SH	0,19 B	1,11 A	0,28 C
Ureia-So	0,18 B	1,09 A	0,31 B
Ureia-SHoB	0,16 C	1,15 A	0,33 B
Ureia-SoB	0,15 C	1,07 A	0,31 B
Ureia-B	0,16 C	1,09 A	0,37 A
CV (%)	6,81	4,65	8,55

Médias seguidas da mesma letra *maiúscula vertical*, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Scott knott.

5.5.1.3 Nitrogênio mineral no solo

Avaliando os teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ + NO₂⁻ no solo para os tratamentos utilizados, observa-se na Tabela 12 que o tratamento que recebeu o sulfato de amônio foi o tratamento que apresentou os maiores teores de amônio (NH₄⁺) no solo, diferenciando-se entre todos os tratamentos. Este maior teor de amônio apresentado para este tratamento pode estar associado ao fato do N deste fertilizante se apresentar na forma amoniacal, e este fertilizante apresentar natureza ácida, conferindo uma maior acidificação no local de aplicação do fertilizante quando comparado aos demais tratamentos. Pois, de acordo com Adams & Martin (1984), a nitrificação é inibida pela acidez no solo, quando feita adubação com amônio. A aplicação de sulfato de amônio promove uma brusca queda do pH do solo inibindo o processo de nitrificação (Strong et al. 1997). O amônio é a forma iônica absorvida preferencialmente pelas plantas, isso justifica motivo pelo qual o sulfato de amônio também apresentou um dos maiores acúmulos de N na parte aérea das plantas para a mesma dose de N aplicada (50 kg ha⁻¹).

Entre os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados o maior teor de amônio foi conferido pelo pastilhado ureia-SoB (ureia + enxofre elementar e bentonita) sendo este inferior apenas ao sulfato de amônio e significativamente superior aos demais tratamentos. Os tratamentos referentes aos pastilhados contendo somente uma fonte de enxofre (sulfato de amônio ou enxofre elementar) ou ainda quando a ureia foi pastilhada somente com bentonita, correspondendo aos fertilizantes ureia-SH, ureia-So e ureia-B, não diferiram entre si e foram

semelhantes aos produtos comerciais ureia granulada, FH Nitro Gold, ureia-So Yara e também a ureia pastilhada (objetivo de eliminar efeito de tamanho da pastilha). Contudo, para o tratamento referente à ureia pastilhada com duas fontes de enxofre (sulfato de amônio e enxofre elementar) na presença de bentonita (ureia-SHoB) foi observado o menor teor de amônio (NH_4^+) no solo entre todos os tratamentos, exceto ao fertilizante comercial Super N (contendo inibidor de urease) que apresentou resultado significativamente semelhante ao resultado apresentado. Estes fertilizantes (ureia- SHoB e super N) foram superiores apenas a testemunha absoluta (sem N), quanto aos teores de amônio (NH_4^+) no solo.

Comparando os teores de NO_3^- no solo após 60 dias de cultivo do milho com aplicação de dose equivalente a 50 kg N ha^{-1} , para os diferentes fertilizantes nitrogenados verifica-se na Tabela 12, que o maior teor de nitrato mais nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) foi conferido pelo tratamento que recebeu o sulfato de amônio deferindo significativamente dos demais tratamentos. Sendo esse mesmo tratamento também responsável pelos maiores teores de N total assim como também de amônio (NH_4^+) no solo. Os tratamentos referentes a aplicação de ureia pastilhada com sulfato de amônio (ureia-SH) e a ureia pastilhada com enxofre elementar na presença de bentonita (ureia-SoB) respectivamente, foram significativamente inferiores apenas ao sulfato de amônio, e semelhantes ao fertilizante comercial FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar). Entretanto, os menores teores de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ no solo foram observados para os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados de ureia com bentonita (ureia-B), ureia com sulfato de amônio, enxofre elementar e bentonita (ureia-SHoB) e ureia com enxofre elementar (ureia-So), que não diferiram entre si e foram semelhantes à ureia pastilhada e aos fertilizantes comerciais ureia granulada, ureia-So Yara e Super N. Estes tratamentos foram superiores significativamente apenas a testemunha absoluta (sem N).

Tabela 12: Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato + nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) no solo, 60 dias após o plantio da cultivar de milho BRS Sol da manhã com aplicação de dose referente a 50 kg ha^{-1} a partir de diferentes fertilizantes nitrogenados.

Tratamentos	NH_4^+ (mg kg^{-1})	$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (mg kg^{-1})
Testemunha absoluta	1,68 E	3,59 D
Ureia granulada	16,33 C	7,3 C
Super N	7,92 D	8,09 C
Sulfato de amônio	54,55 A	11,44 A
FH Nitro Gold	12,97 C	9,77 B
Ureia-So Yara	16,52 C	8,94 C
Ureia Pastilhada	15,72 C	7,79 C
Ureia-SH	17,33 C	9,64 B
Ureia-So	15,17 C	8,25 C
Ureia-SHoB	10,72 D	8,16 C
Ureia-SoB	21,98 B	9,96 B
Ureia-B	16,97 C	9,07 C
CV (%)	10,66	8,87

Médias seguidas da mesma letra *maiúscula vertical*, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Scott knott. .

5.5.2 Ensaio com a cultura do milho com aplicação de 100 kg N ha⁻¹

5.5.2.1 Parâmetros fenológicos

Na Tabela 13 são apresentados os resultados para os parâmetros fenológicos analisados para cultivar de milho BRS Sol da Manhã, após 30 dias de cultivo com aplicação de 100 kg N ha⁻¹ utilizando-se diferentes fertilizantes nitrogenados. Para esta dose de N aplicada (100 kg ha⁻¹) as plantas de milho não conseguiram expressar seu potencial de crescimento, por isso para essa maior dose as plantas foram cultivadas somente pelo período de 30 dias, em virtude de terem apresentado sintomas de toxidez, enquanto que para a aplicação da menor dose de N (50 kg ha⁻¹) as plantas de milho foram cultivadas durante 60 dias. Provavelmente a maior dose de N aplicada (100 kg) toda em plantio pode ter causado um distúrbio fisiológico nas plantas de milho comprometendo assim o seu desenvolvimento.

Analisando os resultados para a altura das plantas de milho quando se aplicou 100 kg N ha⁻¹ através dos diferentes fertilizantes nitrogenados, observa-se que os tratamentos apresentaram diferenças entre si, e os melhores resultados foram apresentados pelo tratamento correspondente ao fertilizante comercial sulfato de amônio, ao fertilizante pastilhado ureia-SHoB e a testemunha absoluta (sem N). Estes tratamentos diferiram entre si e foram significativamente superiores aos demais tratamentos. O maior desenvolvimento das plantas de milho cultivadas foi conferido pelo sulfato de amônio, sendo que a testemunha absoluta (sem N) apresentou resultado inferior ao sulfato de amônio, mas ainda superior ao pastilhado ureia-SHoB. Os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados ureia-B (ureia pastilhada com bentonita) e ureia-So (ureia pastilhada com enxofre elementar) não diferiram entre si e foram semelhantes aos fertilizantes comerciais super N (ureia com inibidor de urease) e ureia-So Yara (ureia revestida com enxofre elementar), sendo que estes não diferiram da ureia pastilhada, cujo objetivo é avaliar o efeito do tamanho da pastilha. Estes fertilizantes (ureia-B, ureia-So, super N e ureia-So Yara) apresentaram resultados semelhantes para o parâmetro morfológico altura da planta e foram superiores aos fertilizantes comerciais ureia granulada, FH Nitro Gold e aos pastilhados ureia-SH e ureia-SoB. Contudo, o menor desenvolvimento das plantas de milho, quando aplicados 100 kg N ha⁻¹, foi observado para o tratamento referente ao fertilizante comercial FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar).

O milho consegue obter bom aproveitamento do nitrogênio do solo, sendo este suficiente para o desenvolvimento da cultura. Pois, a aplicação de 100 kg N ha⁻¹ toda em plantio é considerada excessiva para a cultura do milho. Outros autores também determinaram o efeito depressivo causado pela aplicação de elevadas doses de N em sulco de semeadura na cultura do milho. De acordo com Fancelli (2010), a utilização de elevadas doses de N em sulco de plantio (acima de 60 kg ha⁻¹) poderá, em função da fonte nitrogenada utilizada, ocasionar salinização e/ou alcalinização da rizosfera comprometendo o funcionamento das raízes, bem como a absorção de nutrientes e os micro-organismos do solo. Dessa forma pode-se então dizer que a aplicação de 100 kg N ha⁻¹ todo em plantio, pode ter promovido efeito de salinidade afetando o desenvolvimento das plantas de milho para a maioria dos fertilizantes nitrogenados utilizados, uma vez que o sulfato de amônio, que possui o maior teor de enxofre e a testemunha absoluta (sem N), apresentaram os maiores valores para a variável altura da planta.

Comparando os resultados apresentados para o acúmulo de massa seca total da parte aérea observa-se o mesmo efeito da elevada dose de N (100 kg ha⁻¹) aplicada toda em plantio na cultura do milho. Pois, assim como para o parâmetro avaliado altura da planta, o tratamento referente ao fertilizante comercial sulfato de amônio também conferiu o maior acúmulo de massa seca das plantas, porém para este parâmetro (acúmulo de massa seca) o resultado apresentado pela testemunha absoluta (sem N) foi significativamente semelhante ao

sulfato de amônio. Sendo que este resultado (acúmulo de massa seca) está diretamente relacionado com a altura das plantas.

Entre os pastilhados o maior acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas foi conferido pela aplicação da ureia-SHoB (ureia com sulfato de amônio e enxofre elementar associados com bentonita) que se apresentou estatisticamente superior aos demais tratamentos que não diferiram entre si, com exceção do sulfato de amônio e da testemunha absoluta (sem N). Para esse parâmetro morfológico analisado, os melhores resultados conferidos pela testemunha absoluta e pelo sulfato de amônio, também justificam o efeito negativo da alta dose de N aplicada todo em plantio para alguns fertilizantes nitrogenados.

Analisando os resultados para o acúmulo de massa seca de raiz entre os tratamentos utilizados, observa-se que os melhores resultados foram proporcionados pelos tratamentos referentes à testemunha absoluta (sem N), ao sulfato de amônio e ao pastilhado ureia-SHoB que diferiram entre si e foram significativamente superiores aos demais tratamentos, conferindo os maiores acúmulos de massa seca de raízes quando aplicados 100 kg N ha^{-1} . Os demais tratamentos referentes aos fertilizantes pastilhados (ureia-SH, ureia-SoB, ureia-So e ureia-B) apresentaram resultados semelhantes quanto ao acúmulo de massa seca de raiz planta de milho, e diferenciaram-se principalmente dos fertilizantes comerciais Super N, FH Nitro Gold, ureia-So Yara, assim como também da ureia pastilhada, quanto ao desenvolvimento do sistema radicular, sendo que os fertilizantes pastilhados promoveram resultados superiores a esses fertilizantes comerciais. O maior acúmulo para massa seca de raiz apresentado para testemunha pode ter ocorrido devido às plantas cultivadas nesse tratamento (sem N) apresentar um maior desenvolvimento do sistema radicular, pois em situações em que o fornecimento de nutrientes via adubação é insuficiente ou inexistente, as plantas apresentam maior desenvolvimento do sistema radicular buscando explorar um maior volume de solo na tentativa de suprir a demanda nutricional em dado momento.

De forma geral observa-se que para todos os parâmetros fenológicos analisados (altura de planta, massa seca de parte aérea e massa seca de raiz) nas plantas de milho quando se aplicou 100 kg N ha^{-1} , o sulfato de amônio, a testemunha absoluta (sem N) e o pastilhado ureia-SHoB, diferiram entre si, e apresentaram os melhores resultados em relação aos demais tratamentos utilizados. Sendo que entre os produtos pastilhados a ureia-SHoB correspondeu ao tratamento que apresentou o melhor resultado para todos os parâmetros analisados. Esse resultado superior apresentado por esse fertilizante (ureia-SHoB), entre os pastilhados, possivelmente pode ter ocorrido em função deste fertilizante apresentar uma mistura com duas diferentes fontes de enxofre (sulfato de amônio e enxofre elementar) resultando em uma liberação mais lenta do N contido no fertilizante, proporcionando um efeito menos pronunciado de salinidade pela alta dose aplicada, e conseqüentemente melhor desenvolvimento das plantas.

Tabela 13: Características fenológicas da Cultivar de Milho BRS Sol da Manhã 30 dias após o plantio com aplicação de dose referente a 100 kg ha⁻¹ a partir dos diferentes fertilizantes nitrogenados.

Tratamentos	Altura da Planta (cm)	Massa Seca Parte de Aérea (g/vaso)	Massa Seca de Raiz (g/vaso)
Testemunha absoluta	99,1 B	19,72 A	12,05 A
Ureia granulada	45,5 E	1,50 C	1,94 D
Super N	50,9 D	1,35 C	0,43 E
Sulfato de amônio	116,2 A	21,64 A	5,01 B
FH Nitro Gold	36,1 F	1,77 C	0,87 E
Ureia-So Yara	56,1 D	2,90 C	1,00 E
Ureia Pastilhada	58,83 D	2,13 C	0,91 E
Ureia-SH	45,9 E	2,91 C	1,71 D
Ureia-So	54,6 D	3,00 C	1,26 D
Ureia-SHoB	80,1 C	7,24 B	3,30 C
Ureia-SoB	44,4 E	1,53 C	1,66 D
Ureia-B	55,1 D	2,66 C	1,31 D
CV (%)	6,76	22,18	17,81

Médias seguidas da mesma letra *maiúscula vertical*, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Scott knott.

5.5.2.2 Nitrogênio total no solo, parte aérea e na raiz

Na Tabela 14 são apresentados os teores de N total no solo, nitrogênio total acumulado na parte aérea e acumulado na raiz, quando se aplicou dose referente a 100 kg N ha⁻¹ através da aplicação de diferentes fertilizantes nitrogenados.

Considerando os teores de N total no solo, observa-se que os tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais super N e sulfato de amônio não diferiram entre si e foram semelhantes ureia pastilhada (efeito de tamanho da pastilha), apresentando-se superiores aos demais tratamentos, inclusive a testemunha absoluta (sem N), quando comparados quanto aos teores de N total no solo após cultivo do milho durante 30 dias. O resultado apresentado pelo sulfato pode estar associado ao fato deste apresentar maior teor de enxofre em sua composição (24%), conferindo dessa forma uma maior quantidade de enxofre adicionada ao solo (114,29 kg S ha⁻¹) quando comparado com os demais tratamentos, sendo que este produto apresenta o enxofre na forma de sulfato que promove uma acidificação no local de aplicação do fertilizante, resultando em uma liberação mais lenta do N. Já o super N, pode ser devido a apresentar inibidor de urease (NBPT) que confere uma lenta liberação do N presente no fertilizante, resultando em uma adequada disponibilidade deste nutriente para as plantas. Para o tratamento que recebeu a ureia pastilhada o maior teor de N no solo possivelmente pode ter ocorrido somente em função da forma do produto, pois o formato de pastilha possui uma menor superfície específica, o que supostamente pode favorecer para que ocorra uma liberação mais lenta do N contido no fertilizante. Pois ao comparar os tratamentos que receberam ureia granulada e ureia pastilhada respectivamente, observamos menores teores de N no solo quando aplicado a ureia granulada.

Para as misturas pastilhadas aplicadas, o fertilizante ureia-SH, que contém as fontes nitrogenadas ureia e sulfato de amônio, apresentou teor de N total no solo significativamente superior aos demais pastilhados e semelhante aos fertilizantes comerciais ureia granulada e FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar). Os demais tratamentos com os fertilizantes pastilhados contendo enxofre elementar e/ou bentonita como também associados com sulfato de amônio (ureia-So, ureia-SoB, ureia-B e ureia-SHoB) apresentaram-se semelhantes e foram significativamente superiores ao produto comercial ureia-So Yara (ureia pastilhada com enxofre elementar) e a testemunha absoluta (sem N).

Fazendo uma análise geral observa-se que todos os tratamentos que receberam a adição de fertilizantes nitrogenados, apresentaram teores de N total no solo superior ao encontrado para a testemunha absoluta (sem N). No entanto o fertilizante comercial ureia-So Yara, que apresenta o maior teor de enxofre elementar (9,2%) entre todos os tratamentos, se mostrou inferior ao pastilhados e aos demais fertilizantes comerciais, sendo superior ao tratamento sem adição de N (testemunha absoluta).

Comparando o acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas de milho 30 dias após o plantio, entre os tratamentos que receberam os diferentes fertilizantes nitrogenados, verifica-se (Tabela 14) que com a aplicação da dose referente a 100 kg N ha^{-1} (maior dose), o baixo acúmulo de N na parte aérea das plantas, assim como os parâmetros fenológicos (tabela 13), é resultante do efeito depressivo da alta dose de N aplicada, toda no momento do plantio, sobre o desenvolvimento das plantas e milho. Pois a alta dose de N aplicada toda em plantio influenciou negativamente na absorção e acúmulo de N nas plantas de milho. Isso pode ser observado uma vez que as plantas referentes ao tratamento que não recebeu N (testemunha absoluta) apresentaram um acúmulo de N na parte aérea significativamente semelhante, e em alguns tratamentos superior, aos tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados, assim como também aos que receberam os fertilizantes comerciais, com exceção do sulfato de amônio.

Observa-se que o maior acúmulo de N na parte aérea das plantas de milho foi resultante do tratamento que recebeu o fertilizante comercial sulfato de amônio. Este fertilizante se mostrou superior diferindo estatisticamente entre todos os tratamentos. Este maior acúmulo de N na parte aérea das plantas, encontrado para este tratamento, provavelmente foi devido ao caráter ácido conferido pelo sulfato de amônio. Onde a lenta liberação do N deste fertilizante promovida pela acidificação resultante da grande quantidade de enxofre na forma de sulfato ($114,29 \text{ kg ha}^{-1}$) adicionada ao solo, atenuou o efeito depressivo da alta dose de N aplicada toda na ocasião do plantio.

Para os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados, somente o tratamento referente à ureia-SoB se mostrou inferior aos demais pastilhados, sendo este tratamento semelhante aos tratamentos que receberam respectivamente os fertilizantes comerciais ureia granulada, super N e FH Nitro Gold e ao que recebeu a ureia pastilhada (objetivo de eliminar efeito de tamanho da pastilha).

Com exceção do fertilizante pastilhado ureia-SoB, os demais pastilhados apresentaram-se significativamente semelhantes quanto ao acúmulo de N na parte aérea (folhas + colmo) das plantas de milho, e não diferiram também da testemunha absoluta (sem N) nem do tratamento com o fertilizante comercial ureia-So Yara.

O resultado apresentado pelo tratamento referente à testemunha absoluta (sem N) evidencia a eficiência da cultura do milho em aproveitar o N do solo (proveniente da matéria orgânica), conforme observado por outros autores. Uma vez que as plantas cultivadas durante 30 dias em tratamento referente a testemunha absoluta (sem N) apresentou desenvolvimento e acúmulo de N na parte aérea de forma significativamente semelhante e até mesmo superior aos tratamentos que receberam aplicação de 100 kg N ha^{-1} .

Analisando o acumulado de N total na raiz das plantas para os diferentes tratamentos neste experimento (com aplicação de 100 kg N ha⁻¹), observa-se que assim como para o acúmulo de N na parte aérea das plantas, o tratamento que recebeu o fertilizante o comercial sulfato de amônio resultou em um acúmulo superior de N nas raízes das plantas, diferindo estatisticamente entre todos os tratamentos. Para este mesmo parâmetro analisado (N acumulado raiz), o resultado apresentado pela testemunha absoluta (sem N) foi inferior somente ao resultado apresentado pelo sulfato de amônio, mostrando-se superior aos demais fertilizantes comerciais e pastilhados. Os fertilizantes comerciais ureia granulada e ureia-So Yara não diferiram entre si e foram semelhantes aos pastilhados para o acúmulo de N na raiz, com exceção da ureia-SoB que apresentou o menor acúmulo de N entre os tratamentos, mas ainda semelhante aos fertilizantes comerciais super N (com inibidor de uréase) e FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar) e a ureia pastilhada.

De forma geral observa-se que para o acúmulo de N nas raízes em função dos fertilizantes utilizados, os melhores resultados foram conferidos pelos tratamentos referentes ao sulfato de amônio e a testemunha absoluta (sem N), diferenciando-os significativamente dos demais tratamentos quando aplicados 100 kg N ha⁻¹.

Com base neste experimento com a cultura do milho, observa-se que para maioria dos fertilizantes utilizados, ocorreu um efeito negativo resultante da alta dose de N aplicada na ocasião do plantio, podendo este efeito ter comprometido a absorção e acúmulo de N nas raízes, bem como o desenvolvimento das plantas e o acúmulo deste nutriente na parte aérea

Tabela 14: Teores de N total no solo, nitrogênio total acumulado na massa seca de parte aérea e na massa seca de raiz para cultivar de Milho BRS Sol da manhã 30 dias após o plantio com aplicação de dose referente a 100 kg N ha⁻¹ a partir dos diferentes fertilizantes nitrogenados.

Tratamentos	Nitrogênio Total no Solo (g/kg)	Nitrogênio Acumulado na Parte Aérea (g/vaso)	Nitrogênio Acumulado na Raiz (g/vaso)
Testemunha absoluta	0,18 E	0,16 B	0,06 B
Ureia granulada	0,29 B	0,07 C	0,04 C
Super N	0,35 A	0,08 C	0,01 D
Sulfato de amônio	0,33 A	0,80 A	0,15 A
FH Nitro Gold	0,29 B	0,07 C	0,02 D
Ureia-So Yara	0,22 D	0,14 B	0,03 C
Ureia Pastilhada	0,34 A	0,11 C	0,02 D
Ureia-SH	0,29 B	0,14 B	0,04 C
Ureia-So	0,27 C	0,16 B	0,04 C
Ureia-SHoB	0,26 C	0,14 B	0,03 C
Ureia-SoB	0,27 C	0,08 C	0,02 D
Ureia-B	0,26 C	0,13 B	0,03 C
CV (%)	6,81	17,74	22,32

Médias seguidas da mesma letra *maiúscula na vertical*, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Scott knott.

5.5.2.3 Nitrogênio mineral no solo

Comparando os teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ + NO₂⁻ no solo apresentados pelos tratamentos quando aplicado dose referente a 100 kg N ha⁻¹ através de fertilizantes pastilhados com suas

respectivas misturas e diferentes fertilizantes comerciais, observou-se (Tabela 15), que entre os fertilizantes pastilhados os maiores teores de NH_4^+ foram conferidos pelo tratamento referente a ureia-So (ureia com enxofre elementar), ureia-SHoB e pela ureia-B (ureia com bentonita). Estes pastilhados diferiram entre si, contudo a ureia-So foi superior a ureia-B e ureia-SHoB que foram estatisticamente semelhantes entre si e aos tratamentos que receberam os fertilizantes comerciais ureia granulada, super N (contém inibidor de urease), sulfato de amônio e FH Nitro Gold (ureia revestida com enxofre elementar) e ao tratamento com ureia pastilhada (objetivo de avaliar o efeito de tamanho da pastilha). O pastilhado ureia-SoB (ureia com enxofre elementar e bentonita) apresentou resultado semelhante ao fertilizante comercial ureia-SoYara (ureia pastilhada com enxofre elementar), porém estes tratamentos foram inferiores aos demais fertilizantes comerciais quanto aos teores de amônio no solo, quando aplicados 100 kg N ha^{-1} .

O menor teor de amônio (NH_4^+) no solo, observado entre todos os tratamentos foi conferido pelo fertilizante pastilhado de ureia com sulfato de amônio (ureia-SH), sendo este tratamento superior apenas a testemunha absoluta (sem N).

Comparando os diferentes tratamentos quanto aos teores de nitrato mais nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) no solo após 30 dias de cultivo com milho quando aplicados 100 kg N ha^{-1} através de diferentes fertilizantes pastilhados e comerciais, observa-se na Tabela 15, que os tratamentos diferiram entre si, sendo o maior teor de nitrato mais nitrito resultante do tratamento que recebeu o fertilizante ureia pastilhada, cujo objetivo é avaliar o efeito do tamanho da pastilha. O tratamento referente ao fertilizante comercial de ureia revestida com enxofre elementar (FH Nitro Gold) também apresentou um alto teor de nitrato no solo, sendo inferior apenas da ureia pastilhada e superior aos demais tratamentos.

Entre os fertilizantes pastilhados os que proporcionaram os maiores teores de nitrato + nitrito no solo foram os pastilhados ureia-SoB (ureia com enxofre elementar na presença de bentonita) e ureia-B (ureia com bentonita). Estes tratamentos diferiram entre si, onde a ureia-SoB apresentou-se superior, sendo ainda semelhante ao resultado apresentado pelo tratamento com o fertilizante comercial ureia granulada.

Os tratamentos referentes aos demais pastilhados ureia-SH, ureia-So e ureia-SHoB apresentaram-se semelhantes entre si, quanto aos teores de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, e foram significativamente superiores aos fertilizantes comerciais Super N, ureia-So Yara e sulfato de amônio.

O tratamento que recebeu o fertilizante sulfato de amônio apresentou ausência de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ no solo, sendo o resultado encontrado para este tratamento estatisticamente semelhante ao apresentado para a testemunha absoluta (sem N). A ausência desta forma de N ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) no solo para o tratamento que recebeu o fertilizante comercial sulfato de amônio, possivelmente se deu pelo fato do N deste fertilizante se apresentar na forma amoniacal e pela natureza ácida conferida por este produto, resultando em inibição da produção de nitrato, uma vez que a taxa de nitrificação decresce com as condições de acidez no solo (Adams & Martin, 1984).

A testemunha absoluta (sem N) apresentou ausência para os teores de NH_4^+ e $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, pois para este tratamento o nitrogênio presente se encontra na forma orgânica, e à medida que vai sendo disponibilizado, através do processo de mineralização da matéria orgânica, é absorvido pela planta.

Tabela 15: Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato + nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) no solo 30 dias após o plantio da Cultivar de Milho BRS Sol da manhã com aplicação de dose referente a 100 kg N ha^{-1} a partir dos diferentes fertilizantes nitrogenados.

Tratamentos	NH_4^+ (mg kg^{-1})	$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (mg kg^{-1})
Testemunha absoluta	0,00 E	0,00 H
Ureia granulada	472,47 B	41,51 C
Super N	489,25 B	16,10 G
Sulfato de amônio	480,59 B	0,00 H
FH Nitro Gold	489,60 B	45,14 B
Ureia-So Yara	454,71 C	24,51 F
Ureia Pastilhada	505,29 B	69,21 A
Ureia-SH	398,89 D	33,37 E
Ureia-So	557,29 A	31,09 E
Ureia-SHoB	498,21 B	33,26 E
Ureia-SoB	434,14 C	41,12 C
Ureia-B	490,85 B	36,63 D
CV (%)	3,82	7,02

Médias seguidas da mesma letra *maiúscula na vertical*, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Scott knott.

5.6 CONCLUSÕES

- i. A associação de diferentes fontes de N (sulfato de amônio e ureia) na presença e/ou ausência de enxofre elementar e bentonita na mesma pastilha do fertilizante resultou em maior desenvolvimento e crescimento das plantas de milho, uma vez que, os pastilhados ureia-SH e ureia-SHoB apresentaram os melhores resultados para ambas as doses de N utilizadas (50 e 100 kg ha⁻¹).
- ii. Em relação aos teores de N no solo, como também das suas formas (amônio e nitrato + nitrito), o pastilhado ureia-SH contendo duas fontes de N (ureia + sulfato de amônio) e os pastilhados de ureia com enxofre elementar com e sem bentonita (ureia-So e ureia-SoB) proporcionaram as plantas uma maior disponibilidade de N, principalmente quando comparado com os produtos comerciais Super N e da ureia pastilhada com enxofre elementar da Yara.
- iii. Quanto ao efeito dos fertilizantes pastilhados no desenvolvimento das plantas de milho, todos os pastilhados de ureia apresentaram resultados satisfatórios, principalmente quando utilizado a menor dose de N (50 kg ha⁻¹) no plantio, já que estes produtos não apresentaram diferenças acentuadas em relação aos fertilizantes comerciais, especialmente, quando houve associação de duas fontes de N (ureia e sulfato de amônio) e a associação destes com enxofre elementar na presença de bentonita, onde os pastilhados ureia-SH e ureia-SHoB resultaram em maiores acúmulos de N na planta.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O pastilhamento de ureia com sulfato de amônio e enxofre elementar com bentonita (ureia-SHoB) e somente com enxofre elementar na presença de bentonita (ureia-SoB), como também a associação somente de bentonita na ureia pastilhada (ureia-B), apresentaram resultados positivos quando aplicado na maior dose (200 kg N ha^{-1}) em relação aos parâmetros avaliados (N total no solo, N acumulado na massa seca de parte aérea e N acumulado na raiz) para a cultura da cana-de-açúcar.

O pastilhamento de ureia com sulfato de amônio, enxofre elementar e bentonita (ureia-SHoB) resultou em maior acúmulo de nitrogênio nas plantas de algodão, quando aplicados 50 kg N ha^{-1} , apresentando-se significativamente superior aos demais fertilizantes pastilhados e comerciais.

Quanto ao efeito dos fertilizantes pastilhados no desenvolvimento das plantas de milho, todos os pastilhados de ureia apresentaram resultados satisfatórios, principalmente quando utilizado a menor dose de N (50 kg ha^{-1}) no plantio, já que estes produtos não apresentaram diferenças acentuadas em relação aos fertilizantes comerciais, especialmente, quando houve associação de duas fontes de N (ureia e sulfato de amônio) e a associação destes com enxofre elementar na presença de bentonita, onde os pastilhados ureia-SH e ureia-SHoB resultaram em maiores acúmulos de N nas plantas.

De uma forma global, pode-se afirmar que os diferentes fertilizantes pastilhados NS demonstraram ser eficientes em fornecer nitrogênio para as diferentes culturas estudadas, contribuindo para o seu crescimento e desenvolvimento. Entretanto, se faz necessário pesquisas mais abrangente, principalmente no nível de campo, para maiores comprovações quanto a eficiência destes produtos, uma vez que estes mostraram-se ser promissores através de ensaios realizados em casa de vegetação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, F.; MARTIN, J. B. Liming effects on nitrogen use and efficiency. In: HAUCK, R. D. (Ed.). Nitrogen in crop production. Madison: American Society of Agronomy, 1984. 417-426 p.
- ALBUQUERQUE, G. A. C.; MARINHO, M. L. Adubação na região Norte-Nordeste. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1983. p. 267-287.
- ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. Modern corn production. 2. ed. Champaign: A & L Publication, 1982. 371 p.
- ALVAREZ, V. V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. de F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. 595-644 p.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2002, v. 26, p. 241-248.
- ANDA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Anuário Estatístico Setor de Fertilizantes. 2008. Disponível em: www.anda.org.br. Acesso em: 15 de fev. 2008.
- ARAÚJO, A. M. S.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Mineralização do C e do N em amostras armazenadas de solo e cultivadas com cana-de-açúcar, ao longo de dez anos, com e sem fertilização nitrogenada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2001, v. 25, n. 1, p.45-53.
- AZEVÊDO, D.M.P.; NÓBREGA, L.B.; VIEIRA, D.J.; BELTRÃO, N.E.M.; PEREIRA, J.R.; ALVES, I. Efeito da adubação nitrogenada e do regulador de crescimento e algodoeiro irrigado. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1998.4p. (EMBRAPA-CNPA. Documento, 81).
- BELTRÃO, N.E.M.; BEZERA, J.R.C. de M. Recomendações técnicas para o cultivo do algodoeiro herbáceo de sequeiro e irrigado nas regiões Nordeste e Norte do Brasil. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1993. 72p. (Circular Técnica, 17).
- BELTRÃO, N.E. M.; SOUZA, J.G. Fitologia do algodão herbáceo (sistemática, organografia e anatomia). In: BELTRÃO, N.E.M. (Org.). O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPA, 1999, v.1,cap. 1, p. 55-86.
- BOARETTO, A.E.; MURUOKA, T.; TRIVELIN, P.C.O. Uso eficiente de nitrogênio nos fertilizantes convencionais. Informações Agronômicas. IPNI, 2007, v.120, p.13-14.
- BOLOGNA, I. R.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; FAONI, C. E.; FRANCO, H. C. J. Lixiviação de enxofre em solo arenoso cultivado com cana-de-açúcar. In: Reunião Brasileira de Manejo da Água e do Solo, 16., 2006, Aracajú. Resumo. Aracajú: UFS, SBCS, 2006, p.45-46.
- BOLOGNA-CAMPBELL, I. Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana de açúcar no ciclo cana planta. Tese (Doutorado) – Escola Superior Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP. 2007, 112 p.

- BORTOLINI, C. G. Eficiência do método de adubação nitrogenada em pré-semeadura do milho implantado em semeadura direta após aveia preta. 48p. 2000. Dissertação (Mestre em Agronomia.). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BOUWEESTER, R. J. B.; VLEK, P. L. G.; STUMPE, J. M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 49, n. 2, 1985. p. 376-381.
- BYRNES, B. H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: *International Fertilizer Development Center, Fertilizer Manual*. Alabama: Kluwer Academic, n. 2, 2000. p. 20-44.
- CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Comparative study of life hydrolytic methods in the determination of soil organic nitrogen compounds. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, Montcello, v. 28, 1997. p. 1303-1309.
- CAMARGO, P. B. Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes: uréia (15N) e aquamônia (15N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar. 104p. 1989. Dissertação (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Planta) Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo.
- CAMINHA, I.O. Conservação de sementes de algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch) colhidas em diferentes horários. 2000. 33f. Trabalho de Graduação (Graduação em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- CANTARELLA, H; RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no estado de São Paulo. In: SANTA, M. B. M. (Ed). *Adubação nitrogenada no Brasil*. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p. 47-79.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. (eds). *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, Potafos, 1993, p. 147-196.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; CANTARUTTI, CERETTA, C. A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-milho, no sistema de plantio direto. *Revista de Santa Maria*, n. 5, 1997. p.112-124.
- CANTARELLA, H. & DUARTE, A. P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J. C. C. & MIRANDA, G. V. Eds. *Tecnologia de produção de milho*. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa, 2004. p. 139-182.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (eds). *Fertilidade do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 375-470.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. *Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira*. Piracicaba: IPNI, 2007, v 1, p. 355-412.
- CANTARELLA, H. TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; dias, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Scientia agricola*, v.65, n.4, 2008, p. 397-40.
- CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. In: FANCELLI, A.L. (ed). *Milho - Nutrição e Adubação*. Piracicaba, FEALQ, 2008, v.1, p. 36-55.

- CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e Enxofre. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, R. S. Boas Práticas para o uso Eficiente de Fertilizantes. Piracicaba, IPNI. 2010, v 2, cap. 1. p. 5-46.
- CARNEIRO, A. A.; CARNEIRO, N. P.; CARVALHO, C. H. S.; VASCONSELOS, M. J. V.; PAIVA, E.; LOPES, M. A. Milho transgênico. Biotecnologia Ciencia & Desenvolvimento, Brasília, 2000, n. 15, p. 42-46.
- CARVALHO, O.S.; SILVA; O.R.R.F.; MEDEIROS, J.C. Adubação e calagem. In: BELTRÃO, N.E. M. O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília: Embrapa-CNPQ. Comunicação para a Transferência de Tecnologia, cap.6, v.1,1999. p.173-210.
- CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. In: FREIRE, E.C. (Org.). Algodão no cerrado do Brasil. Brasília: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2007. cap. 16. p. 581-647.
- CERETTA, C.A; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1997. Cap.7, p.111-120.
- CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, J. Cultura do algodoeiro. Potafos Piracicaba, 1999. 286 p.
- COELHO, A. M. Adubação e nutrição do milho. In: A cultura do milho. CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. 1º Ed. Sete Lagoas-MS. EMBRAPA Milho e Sorgo, 2008, 517p.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Seja o doutor do seu milho. Arquivo do agrônomo - Nº 2, Potafos, setembro 1995, 9 p.
- COLLAMER, J.D.; GEARHART, M.; MONESMITH, F.L. Sulfato de Amônio. Informações Agrônomicas. IPNI, n.10, 2007. p 7- 8.
- COLETI, J.T.; CASAGRANDE J. C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D.; OLIVEIRA, G.R., Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em argissolos, variedades RB83-5486 e SP81-3250. STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, 2006, v. 24, n.5, p. 32-36..
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar, Safra 2010/2011. Terceiro levantamento. Jan. 2011.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento Levantamento de Safra. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/> Levantamento de Grãos> Acesso em: 23 set. 2011).
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: Grãos, Safra 2011/2012. Oitavo levantamento. Maio 2012.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar, Safra 2012/2013. Primeiro levantamento. Abril de 2012.
- COSTA, A.C.S.; FERREIRA, J.C.; SEIDEL, E.P.; TORMENA, C.A.; PINTRO, J.C. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia em três solos Argilosos tratados com uréia. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v.26, n.4, 2004. p.467-473.
- COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃- de fontes nitrogenadas em cana de açúcar colhida sem despalha a fogo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, n. 27,2003. p. 631-637.
- DANIELS, J. AND ROACH, B.T. Taxonomy and evolution,1987. p.7-84. In Heinz, D.J. (ed.) Sugarcane improvement through breeding. Elsevier, Amsterdam.

- DARLEY, H.C.H. & GRAY, G.R., Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids, Fifth Edition, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1988.
- DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; CUNHA, L. H.; FREIRE, L. R.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; PEREIRA, N. N. C.; EIRA, P. A.; BLOISE, R. M.; SALER, R. C. Manual de adubação para o estado do Rio de Janeiro. Itaguaí: Ed.Universidade Rural, Série Ciências Agrárias, n.2, 1988. 179 p.
- DIEST, V. A. Volatilización del amoníaco en los suelos anegados, y sus repercusiones en el rendimiento de arroz. Noticiarios de la Comisión Internacional del arroz, FAO, n.37,1988. p. 1-6.
- DILLEWIJN, C. Botany of sugarcane. Waltham, The Chronica Botanica, v. 1, p. 53-58, 1952.
- DUKE, S. H.; REISENAUER, H. M. Roles and requirements of sulfúrico in plant nutrition. In: SULFUR in agriculture. Madison: ASA/ CSSA/SSSA, 1986. p.123-168. (Agronomy monography, 27).
- DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral Brasileiro, Bentonita, 2009.
- EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro. 1997.
- ENRIQUEZ-OBREGÓN, G.A., VÁZQUEZ-PADRÓN, R.I., PRIETO-SAMSONOV, D.L., DE LA RIVA, G.A. & SELMAN-HOUSSEIN, G. Herbicide-resistant sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plants by Agrobacterium-mediated transformation. 1998, Planta 206: 20-27.
- FACRE, W. R. Três formas de fertilizantes nitrogenados e o futuro. In: Informações Agronômicas, n. 120, p. 5-8, Dez. 2007.
- FANCELLI, A. L. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes na cultura do milho. Informações Agronômicas, 2010, n131, p. 1-16.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. 2.ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.
- FERREIRA, H. C.; SILVA, A.R.V. Argilas bentoníticas: conceitos, estruturas, propriedades, usos industriais, reservas, produção e produtores/fornecedores nacionais e internacionais, REMAP ,2008,v.3.2, p. 26-35.
- FERREIRA, G. B.; SEVERINO,L.S.; PEDROSA, M. B.; ALENCAR, A. R.; VASCONCELOS, O. L.;FERREIRA, A. F.; ABREU JÚNIOR, J. S. Resultados de pesquisa com a cultura do algodão no oeste e sudoeste da Bahia, Safra 2003/2004. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 113 p. (Documnetos, 133).
- FERREIRA, O.E. Adubação nitrogenada e qualidade da água de irrigação e seus efeitos na produtividade e componentes de produção do algodoeiro herbáceo. 2003. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande.
- FRANCO, J. A. M.; SARAIVA NETO, A. Produção de fertilizante nitrogenado e suprimento de matéria prima. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Ed. IPNI, Piracicaba, 2007.
- FRYE, I.A.A.; KAIRUZ, I.A.G. Manejo de suelos y uso e fertilizantes. In: FEDERACIÓN NACIONAL DE ALGODONEROS. Bases técnicas para el cultivo del algodón em Colombia. Bogotá: Guadalupe, 1990. p. 113-202.

FURLANI JÚNIOR, E.; ZANQUETA, R.S.; CARVALHO E.H. Características da fibra em função de doses e momentos de aplicação de adubo nitrogenado para a cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) IAC 224. III CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, v.2. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão: Campo Grande: UFMS-Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001.

GRIDI-PAPP, I.L.; CIA, E.; FUZATTO, M. G.; SILVA, M. M.; FERRAZ, C. A. M.; CARVALHO, N. de; CARVALHO, L. H.; SABINO, N. P.; KONDO, J. L.; PASSO, S. M. de C; CHIAVEGATO, E. J.; CAMARGO, P. P. de CAVALERJ, P. A. Manual do produtor de algodão. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 1992. 157 p.

HAIM, Patrick Gesualdi. Perdas de nitrogênio por volatilização e lixiviação provenientes de fertilizantes granulados NK e NS. 2009. 59f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamentos de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ.

HOROWITZ, N. e MEURER, E. J. O Uso do enxofre Elementar como Fertilizante. In: Informações Agronômicas n° 112. 16f. International Plant Nutrition Institute – IPNI. dez. 2005, p. 4-7.

HOROWITZ, N. e MEURER, E. J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. Ciência Rural, Santa Maria, 2006, v. 36, n. 3, p.822-825.

HUMBERT, R.P. Planting of sugar cane. In: HUMBERT, R.P. (Ed.) The growing of sugar cane. Amsterdam: Elsevier Publishing Co., 1968. p. 103-130.

KORNDORFER, G.H.; COLOMBO, C.A.; CHIMELLO, M.A.; LEONI, P. L. C. Desempenho de variedades de cana-de-açúcar cultivadas com e sem nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002, Recife. Anais... Recife: STAB, 2002, p. 234-238.

KORNDORFER, G.H.; VALLE, M. R.; MARTINS, M.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio da ureia pela cana-planta. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 1997. v.21, p. 23-26.

KROUSE, H.R.; MAYER, B; SCHOENAU, J.J. Applications of stable isotope to soil sulfur cycling. In: BOUTTON, T.W; YAMASAH, S. (Eds.). Mass Spectrometry of Soils. New York: Marcel Dekker, 1996, p.225-245.

LAGIÉRE, R. El algodón. Barcelona: Blume, 1969. 292 p.

LAMA, F. M.; STAUT, L. A. Nitrogênio e cloreto de mepiquat na cultura do algodoeiro. Revista Ceres, Viçosa, v.51, n.298, p. 755-764, 2005.

LARA CABEZAS, W. A. R. e SOUZA, M. A. Volatilização de Amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de uréia com sulfato de amônia ou com gesso agrícola. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 32, num. 06, 2008.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P. C. O.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluída de cobertura na cultura de milho, em sistema de plantio direto no triângulo mineiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, 2000. p.363-376.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. R. Bras. Ci. Solo, vol. 21, 1997. p. 489-496.

- LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; BOARETTO, A. E. Efeito do tamanho do grânulo e relação N/S da uréia aplicada em superfície na volatilização de amônia sob diferentes umidades iniciais do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, n. 16, 1992. p. 409-413.
- LIMA, J. F. W. F.; DA SILVA, G. L.; DE LUNA, J. G.; DA SILVA, M. A.; OLIVEIRA, E.M. Efeito de doses crescentes de vinhaça e níveis de nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. In: Congresso Nacional da STAB, 1987, Olinda: n.4, Np, Anais.1987.
- LINN, D. M.; DORAM, J. W. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and no tilled soils. *Soil Sci. Society of Am. J.*, Madison, v.48, 1984. p.1267-1272.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas. Ed. Pioneira. São Paulo: 1974, p.259-290.
- MALAVOLTA, E. Fertilizing for high yield sugarcane. Basel: Internatinal Potash Institute, 1994. 104 p. (Bulletin 14).
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição de plantas, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 126p.
- MELGAR, R.; CAMOZZI, M. E.; FIGUEROA, M. M. Guia de fertilizantes nitrogenados, enmiendas y productos nutricionales. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnologia. Agropecuária, v. 1,1999. p. 13-25.
- MELO, W. J. Matéria orgânica, nitrogênio e enxofre. Curso de atualização em fertilidade do solo. Jaboticabal: ANDA, 1978. 66p.
- MENEZES, R. R.; SOUTO, P. M.; SANTANA, L. N. L.; NEVES, G. A.; KIMINAMI, R. H. G. A.; FERREIRA, H. C. Argilas bentoníticas de Cubati, Paraíba, Brasil: Caracterização física – mineralógica, Cerâmica vol. 55, n° 334, São Paulo 2009.
- MOZAMBANI, A.E.; PINTO, A.S.; SEGATO, S.V; MATTIUZ, C.F.M. História e morfologia da cana-de-açúcar, In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ, 2006. p. 11-18.
- MUURINEN, S. Breeding effects on nitrogen use efficiency of spring cereals under northern conditions. *Crop Science*, n.1, v.46, 2006. p. 561-568.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 1983. v.7, n.1, p. 95-102.
- NEUBAUER, H., SCHENEIDER, W. Die Nährstoffaufnahme der Keimpflanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung des Nährstoffgehalts der Boden. *Zeitsch fur Pflanzenernahrung und Dung*, 1923. n. 2, p. 329-362.
- NEVES, M. F. E PINTO, M. J. A. A Cadeia do Algodão Brasileiro: Desafios e Estratégias. Brasília: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. 2012. 110p.
- OENEMA, O.; VELTHOF, G. L. Ammonia volatilization from compound nitrogen-sulfur fertilizer . In: FRAGOSO, M. A. C.; BEUSICHEM, M. L. van (Ed). Optimization of plant nutrition. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1993. p. 341-349.

- ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A. Adubação nitrogenada em cana-planta: perfilhamento e produtividade agrícola. STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos, 1995, v. 13, n. 3, p. 16-18.
- ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRAME, J.A.; LAVORENTI, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos, 1999, v.17, n.4, p.39-41.
- PASSOS, S.M.G. Algodão. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1980. 424p
- PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa, [s.n.], 1999. P. 429-485.
- PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR. 2012. (pmgca.dbv.cca.br- acessado em 23/04/2012).
- RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: CERES-POTAFOS, 1991. 343p.
- RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285p.
- ROSS, C. S. & SHANNON, E. V., Minerals of Bentonite and Related Clays and Their Physical Properties, Journal of American Ceramic Society 9, 77 (1926).
- ROSSOLEM, C. A.; PEREIRA, H. F. M.; BESSA, M. A.;AMARAT, P. G. Nitrogen in soil and cotton growth as affected by liming and nitrogen fertilizer. In: WRIGTH , R. J. (Ed). Plant-soil internactions at low pH. Dordreche Kluwer, 1991. P.321-325.
- ROSSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha em superfície. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, n. 2, fev. 2003. p. 301-409.
- SALVADOR, F. Cana-de-açúcar deve ter recorde de produção na safra 2010/11, diz Conab. Agência Estado, Estadão Digital – O Estado de S.Paulo. 2010. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/Economia+,cana-de-acucar-deve-ter-recorde-de-producao-na-safra-201011-diz-conab,not_15814.htm>, acesso em: 07 jan. 2011.
- SAMPAIO, E.V.S.; SALCEDO, I. H.; ALVES, G. D. Mineralização do carbono e do nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 1985, v.99 p. 33-38.
- SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, CLAIR. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipode solo, em laboratório. Ciência Rural, v.33, n.4, jul-ago, 2003. p.87-692.
- SILVA, A. A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P.; LANA, R. M. Q. Aplicação de diferentes fontes de ureia de liberação gradual na cultura do milho. Biosci.J., Uberlândia, v. 28, Suplemente 1, Mar. 2012, p. 104-111.
- SILVA, M. N. B.; PITOMBEIRA, J. B.; BELTRÃO, E. M.; SILVA, F. P. População de plantas e adubação nitrogenada em algodão herbáceo irrigado. I. Rendimento e característica da fibra. Revista Brasileira de Oleaginosae e Fibrosas, Campina Grande, 2001 a, v.5, n.2, p.355-361.
- SILVA, M. N. B.; BELTRÃO, E. M.; PITOMBEIRA, J. B. População de plantas e adubação nitrogenada em algodão herbáceo irrigado. II. Rendimento e característica da fibra. Revista Brasileira de Oleaginosae e Fibrosas, Campina Grande, 2001 b, v.5, n.2, p.363-371.

- SILVA, N. M.; CARVALHO, L. H.; CANTARELLA, H.; BATAGLIA, O. C.; KONDO, J. I.; SABINO, J. S.; BORTOLETO, N. Uso de sulfato de amônia e de ureia na adubação do algodoeiro. *Bragantia*, Campinas, 1993, v. 52, p. 69- 81.
- SOUZA, S. R. & FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: MANLIO SILVESTRE FERNANDES (Ed). *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-252.
- SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). *Cerrado: correção de solo e adubação*. 2º ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004, p. 129-144.
- STAFANATO, J.B. Aplicação de misturas granuladas NK e NS em cultivar de arroz (*Oryza sativa*). 2009, 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo. Departamento de Agronomia. UFRRJ, Seropédica-RJ).
- STIPP, S.R. e CASARIN, V. A importância do Enxofre na Agricultura Brasileira. In: *Informações Agronômicas* nº 129. 28p. International Plant Nutrition Institute – IPNI. mar. 2010, p. 14-20.
- STAUT, L.A.; KURIHARA, C.H. Calagem e adubação. In: *Algodão: tecnologia de produção*. EMBRAPA Agropecuária Oeste; EMBRAPA Algodão. Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2001. p. 103-123.
- STRONG, D. T.; SALE, P. W.G.; HELYAR, K.R. Initial soil Ph affects the Ph at which nitrification ceases due to self-induced acidification of microbial microsites. *Australian Journal of Soil Research*, Collingwood, 1997, v.35, n. 3, p. 565-570.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TEIXEIRA, I. R.; KIKUTI, H.; BOREM, A. Crescimento e produtividade de algodoeiro submetido a cloreto de mequat e doses de nitrogênio. *Bragantia*, Campinas, Dec. 2008, v 67, n. 4,
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. *Soil Fertility and Fertilizers*. New York: MCMILLAN, 5. 1993
- TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W.; GAVA, G. J. C.; SARRIÉS, G. A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduo da cultura. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, 2002b, v. 26 p.637-646,.
- TRIVELIN, P. C. O. ; VITTI, A. C. Manejo do nitrogênio e enxofre na nutrição e adubação de cana-de-açúcar. In: *SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR*, 2005, Piracicaba. Anais. Piracicaba : GAPE, 2005. p. 1-46.
- URQUIAGA, S.; CRUZ, K. H. S.; BODDEY, R. M. Contribution of nitrogen fixation to sugarcane: nitrogen- 15 and balance estimates. *Soil Scienc Society of America Journal*, 1992, v. 56, p. 105-114.
- URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Dinâmica de N no solo. In. *I Simpósio Brasileiro sobre Nitrogênio em Plantas*. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, RJ.1993. p.127-149.

- URQUIAGA, S.; LIMA, R. DE M., XAVIER, R. P.; RESENDE, A. S. DE; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Avaliação da eficiência do processo de fixação biológica de nitrogênio em diferentes variedades de cana-de-açúcar. *Agronomia*, 2003, v.37, p.55-58,.
- VILLAS BOAS, R. L. Recuperação do nitrogênio da uréia pelo milho: efeito da mistura com sulfato de amônio, da dose e do modo de aplicação. 128p. 1995. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Planta) Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1995.
- VILLAS BOAS, R. L.; BOARETO, A. E.; GODOY, L.J. G.; FERNANDES, D. M. Recuperação do nitrogênio da mistura de ureia com sulfato de amônio por plantas de milho. *Bragantia*, 2005, v. 64, p.263-273,.
- VITTI, A.C. Utilização pela cana-de-açúcar (cana planta) do nitrogênio da uréia (15N) e do mineralizado no solo em sistemas de manejo com e sem a queima. 1998. (Mestrado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1998. 93p.
- VITTI, G. C.; TAVARES JÚNIOR, J. E.; LUZ, P. H. C.; FAVARIN, J. L.; COSTA, M. C. G. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, 2002, v 3, p. 663-671.
- VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P. Produtividade de cana de açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados sobre a palha. Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, v. 23, 2005. p. 30-35.
- VITTI, G. C.; HEIRINCHS, R. Formas Tradicionais e Alternativas de Obtenção e Utilização do Nitrogênio e do Enxofre: Uma Visão Holística p.109-157. In: Anais do Simpósio sobre Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira/ edição de YAMADA, T.; STIPP e ABDALLA, S.R.; VITTI, G. C. Piracicaba, IPNI Brasil, 2007. 722 p.
- VOLK, G. M. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf or bare. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 1959, v.51, p. 746-749.
- WAMSER, A. F.; MUNDSTOCK, C. M. Adubação nitrogenada em estádios fenológicos em cevada, cultivar "MN 698". *Ciência Rural*, 2007v. 37, p. 942-948.
- WATSON, C. J. An assessment of granular urea/ammonium nitrate fertilizers on nitrogen recovery by ryegrass. *Fertilizer Research*, 1988, v. 18, p. 19-29.
- ZAMBELLO JUNIOR, E.; AZEREDO, D. F. Adubação na região Centro-Sul. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1983, p. 289-313.